



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN
PUNCAK CBD WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP**

NADIA JASMINE SETIANTY SIMANJUNTAK
NRP. 3114 100 115

Dosen Pembimbing I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN
PUNCAK CBD WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP**

NADIA JASMINE SETIANTY SIMANJUNTAK
NRP. 3114 100 115

Dosen Pembimbing I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**MODIFICATION DESIGN OF PUNCAK CBD
WIYUNG APARTMENT USING DUAL SYSTEM AND
PRESTRESSED BEAMS ON THE ROOF FLOR**

NADIA JASMINE SETIANTY SIMANJUNTAK
NRP. 3114 100 115

Supervisor I
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Supervisor II
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN
PUNCAK CBD WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Reguler Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NADIA JASMINE SETIANTY SIMANJUNTAK
NRP. 3114 100 115

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing II)



**SURABAYA,
JULI 2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN PUNCAK CBD WIYUNG DENGAN MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

Nama Mahasiswa : Nadia Jasmine Setianty Simanjuntak
NRP : 3114 100 115
Departemen : Teknik Sipil, FTSLK- ITS
Dosen Pembimbing : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Gedung Apartemen Puncak CBD merupakan hunian vertikal yang terdiri dari 37 lantai untuk unit kamar yang terletak di daerah Wiyung, Surabaya Barat. Apartemen ini dibangun dengan struktur beton bertulang biasa pada keseluruhan lantai dan dilakukan modifikasi pada lantai atap. Modifikasi ini bertujuan untuk mengubah lantai paling atas gedung menjadi suatu ruang serbaguna.

Ruang serbaguna didesain memiliki panjang 30 meter dan lebar 13,65 meter dimana kolom-kolom interior ruangan akan dihilangkan dan digantikan fungsinya oleh balok pratekan agar luas ruangan menjadi optimal. Metode beton pratekan yang digunakan dalam modifikasi ini adalah metode post tension (pasca tarik) yang cocok diterapkan pada konstruksi gedung. Perencanaan gedung ini juga menggunakan Sistem Ganda karena apartemen terletak di Kategori Desain Seismik D.

Dari hasil analisa yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa syarat Sistem Ganda pada Apartemen Puncak CBD dapat terpenuhi. Rangka utama gedung mampu menahan beban lateral X dan Y minimum 25% dari total gaya gempa, yaitu

sebesar 29,63% dan 27,39%. Gaya pratekan yang dikenakan pada balok pratekan lantai atap pada saat jacking adalah sebesar 1840 kN dengan kehilangan gaya sebesar 19,06%.

Kata kunci: Apartemen Puncak CBD, Balok Pratekan, Pasca Tarik, Sistem Ganda.

MODIFICATION DESIGN OF PUNCAK CBD WIYUNG APARTMENT USING DUAL SYSTEM AND PRESTRESSED BEAMS ON THE ROOF FLOOR

Nama Mahasiswa : Nadia Jasmine Setianty Simanjuntak
NRP : 3114 100 115
Department : Civil Engineering, FTSLK- ITS
Supervisors : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Puncak CBD Apartment Building is a vertical dwelling consisting of 37 floors for room unit located in Wiyung, West Surabaya. The apartment was built with a regular reinforced concrete structure on the entire floor and modified on the roof floor. This modification aims to turn the top floor of the building into a multipurpose room.

The multipurpose room is designed into 30 meters length and 13.65 meters wide where the interior columns of the room will be removed and replaced by prestressed beams to optimize the space. The prestressed concrete method used in this modification is post tension method which is suitable to be applied to building construction. This building design also uses Dual Systems because the apartment is located in the Seismic Design Category D.

From the result of analysis that have been done, Puncak CBD Apartment fulfilled the requirement of Dual System. The main frame of building is able to withstand minimum 25% total lateral load, which the result is 29,63% for X direction and 27,39% for Y direction. The prestressed force applied to the beam at the time of jacking is 1840 kN with has 19,06% loss of prestressed.

Keywords: Puncak CBD Apartment, Prestressed Beams, Post Tension Method, Dual System.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Modifikasi Perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai Atap**”.

Adapun Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil ITS, Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada segenap pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Ibu Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Data Iranata S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan evaluasi yang sangat berguna selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka selaku dosen kelas mata kuliah Struktur Beton Pratekan yang memberikan ilmu-ilmu bermanfaat mengenai Pratekan kepada Penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Orangtua dan Saudari Penulis, Sopar Simanjuntak, Melati Tambunan, dan Romanna Julia D. Simanjuntak yang selalu memberikan semangat dan dukungan untuk menyelesaikan setiap tanggung jawab penulis dalam perkuliahan, termasuk penyelesaian Tugas Akhir ini sekaligus menjadi teman diskusi ketika penulis kehabisan ide.
4. Richard Andi Kanta Tarigan, yang selalu setia menjadi penyemangat dan sumber bantuan bagi Penulis apapun yang terjadi selama tahun-tahun terakhir perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.

5. Grace Stacyana Agustina Pasaribu, selaku sahabat Penulis sejak SMP yang menjadi penyemangat, tempat pengungsian, dan teman seperjuangan merantau dan lulus kuliah di Surabaya.
6. Putri Widya Larasati, selaku sahabat Penulis sejak SMA yang meskipun jauh di Bandung, namun beberapa kali datang menghampiri penulis untuk memberi semangat.
7. Dela, Rachel, Eta, selaku sahabat Penulis yang selalu memberikan semangat satu sama lain, teman seperjuangan sejak SMP yang kemudian berpisah di PTN yang berbeda.
8. Teman-teman angkatan S57, teman-teman PMK, dan teman-teman PSM yang mengisi kehidupan perkuliahan Penulis selama 4 tahun di ITS.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran bagi laporan tugas akhir ini untuk perbaikan kedepannya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi generasi berikutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum	5
2.2. Beton Bertulang	5
2.3. Beton Pratekan	6
2.3.1. Prinsip Dasar Beton Pratekan	6
2.3.2. Metode Pratekan	10
2.3.2.1 Pratarik (<i>Pre-Tension Method</i>)	10
2.3.2.2 Pascatarik (<i>Post-Tension Method</i>)	11

2.3.3.	Tahap Pembebanan	13
2.3.4.	Kehilangan Gaya Pratekan	13
2.3.5.	Desain Terhadap Lentur	14
2.4.	<i>Shear Wall</i>	20
2.5.	Pondasi	21
2.5.1.	Daya Dukung Pondasi	22
2.5.2.	Daya Dukung Grup Tiang Pancang	23
BAB III	METODOLOGI	25
3.1	Umum	25
3.2	Diagram Alir	25
3.3	Pengumpulan Data	27
3.4	Studi Literatur	28
3.5	Perencanaan Struktur Sekunder	28
3.5.1	Perencanaan Pelat	28
3.5.1.1	Perencanaan Dimensi Pelat	28
3.5.1.2	Penulangan Pelat Lantai	30
3.5.2	Perencanaan Dimensi Tangga	31
3.5.3	Perencanaan Balok Lift	31
3.5.4	Perencanaan Balok Anak	31
3.5.4.1	Perencanaan Dimensi Balok Anak	31
3.5.4.2	Penulangan Balok Anak	32
3.6	<i>Preliminary Design</i>	33
3.6.1	<i>Preliminary Design</i> Struktur Beton Bertulang	33
3.6.1.1	Perencanaan Balok	33

3.6.1.2	Perencanaan Kolom	36
3.6.2	<i>Preliminary Design</i> Balok Struktur Pratekan	36
3.6.2.1	Penentuan Dimensi Balok Pratekan	36
3.7	Pembebanan dan Analisis Struktur	36
3.7.1	Beban Mati	36
3.7.2	Beban Hidup	37
3.7.3	Beban Gempa	37
3.7.4	Kombinasi	42
3.7.5	Analisa berdasarkan Gempa Dinamis	42
3.8	Analisa Struktur	42
3.8.1	Analisa Struktur Utama Pratekan	42
3.8.1.1	Pembebanan	42
3.8.1.2	Gaya Pratekan	43
3.8.1.3	Pemilihan Tendon Baja Pratekan	43
3.8.1.4	Kehilangan Pratekan	45
3.8.1.5	Kontrol Kuat Nominal	47
3.8.1.6	Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan	48
3.8.1.7	Kontrol Momen Retak	48
3.8.1.8	Kontrol Lentur	49
3.8.1.9	Kontrol Geser	49
3.8.1.10	Kontrol Lendutan	51
3.8.1.11	Daerah Limit Kabel	52
3.8.1.12	Pengangkuran	53
3.8.2	Analisa Struktur Utama Non Pratekan	53

3.9	Sistem Hubungan Balok Kolom.....	53
3.9.1	Metode Pelaksanaan Beton Pratekan dengan Sistem Monolit.....	53
3.10	Perencanaan Pondasi.....	54
3.11	Penggambaran Hasil Perencanaan	55
3.12	Kesimpulan dan Saran	56
3.13	Penjadwalan Pengerjaan Tugas Akhir	56
BAB IV	PEMBAHASAN	57
4.1	Preliminary Design	57
4.1.1	Umum	57
4.1.2	Data Perencanaan.....	57
4.1.3	Pembebanan	58
4.1.3.1	Beban Gravitasi (SNI 1729:1989).....	58
4.1.3.2	Beban Gempa.....	58
4.1.4	Perencanaan Balok.....	58
4.1.4.1	Perencanaan Balok Induk.....	58
4.1.4.2	Perencanaan Balok Anak	60
4.1.4.3	Perencanaan Balok Pratekan	61
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat	61
4.1.5.1	Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai.....	64
4.1.5.2	Perhitungan Tebal Pelat	65
4.1.7	Perencanaan Dinding Geser	78
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder	78
4.2.1	Umum	78

4.2.2	Perencanaan Tangga	78
4.2.2.1	Data-data Perencanaan Tangga	78
4.2.2.2	Pembebanan Tangga dan Bordes	80
4.2.2.3	Perhitungan Gaya pada Tangga	81
4.2.2.4	Perhitungan Tulangan Tangga	85
4.2.2.5	Perhitungan Balok Bordes	91
4.2.3	Perencanaan Pelat	95
4.2.3.1	Data Perencanaan	95
4.2.3.2	Pembebanan Pelat	95
4.2.3.3	Penulangan Pelat	97
4.2.4	Perencanaan Balok Anak	103
4.2.4.1	Perhitungan Penulangan Balok Anak	103
4.2.5	Perencanaan Lift dan Balok Penumpu Lift	111
4.2.5.1	Spesifikasi Lift	111
4.2.5.2	Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift	111
4.2.5.3	Pembebanan Balok Penumpu Lift	111
4.2.5.4	Penulangan Balok Lift	113
4.3	Pembebanan dan Analisis Struktur	117
4.3.1	Umum	117
4.3.2	Permodelan Struktur	117
4.3.3	Pembebanan Gravitasi	117
4.3.4	Pembebanan Gempa Dinamis	122
4.3.4.1	Faktor Keutamaan Gempa	122
4.3.4.2	Kelas Situs	122

4.3.4.3	Parameter Respon Spectral dan Percepatan Spectral Desain	122
4.3.4.4	Kategori Desain Seismik.....	123
4.3.4.5	Periode Fundamental dan Respon Spectrum Desain..	123
4.3.4.6	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental	125
4.3.4.7	Kontrol Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	127
4.3.4.8	Kontrol <i>Dual System</i>	130
4.3.4.9	Kontrol Partisipasi Massa	130
4.3.4.10	Kontrol Drift	132
4.4	Perencanaan Struktur Utama Pratekan.....	136
4.4.1	Umum	136
4.4.2	Data Perencanaan Beton Pratekan	137
4.4.3	Mencari Lebar Efektif.....	138
4.4.4	Penentuan Tegangan Ijin dan Baja Prategang.....	138
4.4.5	Perhitungan Pembebanan.....	140
4.4.6	Penentuan Gaya Pratekan Balok Lantai Atap	140
4.4.6.1	Analisa Penampang Global	140
4.4.6.2	Mencari Gaya Prategang Awal (F_o)	143
4.4.6.3	Kontrol Gaya Prategang.....	145
4.4.6.4	Penentuan Tendon yang Digunakan.....	150
4.4.6.5	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....	150
4.4.6.6	Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan.....	156
4.4.6.7	Kontrol Lendutan	163
4.4.6.8	Perencanaan Kebutuhan Tulangan Lunak.....	165

4.4.6.9	Penulangan Geser.....	168
4.4.6.10	Penulangan Torsi.....	169
4.4.6.10	Pengangkuran Ujung.....	170
4.4.6.11	Perencanaan Sambungan Pelat dengan Balok Pratekan	172
4.4.6.12	Metode Pelaksanaan Pengerjaan Balok Pratekan	177
4.5	Perencanaan Struktur Utama Non Prategang.....	178
4.5.1	Umum	178
4.5.2	Perencanaan Balok Induk	179
4.5.2.1	Perhitungan Penulangan Balok Lentur Balok Induk..	179
4.5.2.2	Perencanaan Tulangan Torsi Balok Induk	192
4.5.2.3	Penulangan Geser.....	196
4.5.2.4	Panjang Penyaluran Tulangan.....	202
4.5.3	Perencanaan Kolom	203
4.5.3.1	Kontrol Dimensi Kolom	203
4.5.3.2	Penulangan Longitudinal Kolom	204
4.5.3.3	Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal pada Kolom...	205
4.5.3.4	Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor.....	205
4.5.3.5	Kontrol Gaya Tekan Terhadap Gaya Geser Rencana	205
4.5.3.6	Perhitungan Tulangan Geser.....	206
4.5.3.7	Kontrol Kebutuhan Tulangan Torsi	207
4.5.3.8	Kontrol Persyaratan Strong Column Weak Beam	208
4.5.3.9	Sambungan Lewatan.....	211
4.5.3.10	Rekapitulasi Perencanaan Kolom	212

4.5.3.11	Hubungan Balok Kolom	212
4.5.4	Perencanaan Dinding Geser	216
4.5.4.1	Data Perencanaan Dinding Geser.....	216
4.5.4.2	Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser.....	216
4.5.4.3	Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser ..	217
4.5.4.4	Penulangan Geser Shearwall.....	217
4.5.4.5	Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal	218
4.5.4.6	Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal	218
4.5.4.7	Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal.....	218
4.5.4.8	Kontrol Komponen Batas.....	219
4.5.4.9	Rekapitulasi Perencanaan Dinding Geser	220
4.6	Perencanaan Pondasi.....	221
4.6.1	Umum	221
4.6.2	Daya Dukung Tiang Pancang.....	225
4.6.3	Pengaturan Jarak Antar Tiang Pancang	231
4.6.4	Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang (P_{max}).....	231
4.6.5	Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok	236
4.6.6	Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral	240
4.6.7	Perencanaan Poer	247
4.6.8	Perencanaan Sloof.....	263
BAB V	KESIMPULAN.....	265
5.1	Kesimpulan	265
5.2	Saran	267

DAFTAR PUSTAKA.....	269
LAMPIRAN.....	271

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep Beton Pratekan sebagai bahan elastis (Soetoyo, 2011)	7
Gambar 2. 2 Konsep Beton Pratekan untuk kombinasi baja dan beton mutu tinggi (Soetoyo, 2011).....	8
Gambar 2. 3 Konsep Beton Pratekan untuk mencapai keseimbangan beban (Soetoyo, 2011).....	9
Gambar 2. 4 Konsep metode beton pratarik (Soetoyo,2011)	10
Gambar 2. 5 Konsep metode beton pascatarik (Soetoyo,2011) ..	12
Gambar 2. 6 Daerah batas penempatan tendon (Soetoyo, 2011).	17
Gambar 2. 7 Daerah batas eksentrisitas (Soetoyo, 2011)	19
Gambar 2. 8 Daerah batas eksentrisitas (Soetoyo, 2011)	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penyelesaian Tugas Akhir...	26
Gambar 3.2 Peta Zona Gempa Indonesia (S _s) (SNI 1726:2012, Gambar 9).....	41
Gambar 3. 3 Peta Zona Gempa Indonesia (S ₁) (SNI 1726:2012, Gambar 10).....	41
Gambar 4. 1 Variasi balok pada gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung	59
Gambar 4. 2 Variasi Pelat pada Apartemen Puncak CBD Wiyung	64
Gambar 4. 3 Denah Pelat Tipe 1 500 × 442,5 cm	65
Gambar 4. 4 Denah Pelat Tipe 2 500 × 480 cm	68
Gambar 4. 5 Kolom yang ditinjau pada desain awal	71
Gambar 4. 6 Denah Tangga.....	79
Gambar 4. 7 Potongan A-A Tangga	80
Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Tangga	82
Gambar 4. 9 Gaya Dalam Bidang N pada Tangga	83
Gambar 4. 10 Gaya Dalam Bidang D pada Tangga	84
Gambar 4. 11 Gaya Dalam Bidang M pada Tangga	85
Gambar 4. 12 Grafik Respon Spektra	124
Gambar 4. 13 Potongan Balok Pratekan Tengah Bentang	141

Gambar 4. 14 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Transfer.....	146
Gambar 4.15 Diagram Tegangan Total Tumpuan Saat Transfer	147
Gambar 4. 16 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Layan	148
Gambar 4. 17 Diagram Tegangan Total Tumpuan saat Beban Layan	149
Gambar 4. 18 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Layan Setelah Kehilangan Prategang Asli	157
Gambar 4. 19 Diagram Tegangan Total Tumpuan Saat Layan Setelah Kehilangan Prategang Asli	158
Gambar 4. 20 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kiri Akibat Gempa Dengan Beban Hidup Maksimum.....	160
Gambar 4. 21 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kanan Akibat Gempa Dengan Beban Hidup Maksimum.....	161
Gambar 4. 22 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kiri Akibat Gempa Dengan Beban Hidup 50%	162
Gambar 4. 23 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kanan Akibat Gempa Dengan Beban Hidup 50%	163
Gambar 4. 24 Output spColumn Design Biaxial Kolom 85/85.....	204
Gambar 4. 25 Luas Joint Efektif.....	214
Gambar 4. 26 Grafik Daya Dukung Ijin Tiang Pancang Terhadap Kedalaman	230
Gambar 4. 27 Immediate Settlement of Isolate Footing.....	242
Gambar 4. 28 Influence Value for Laterally Loaded Pile	243
Gambar 4. 29 Pembebanan Poer Tipe 1	251
Gambar 4. 30 Analisa Pile cap sebagai balok kantilever arah X	252
Gambar 4. 31 Analisa Pilecap sebagai balok Kantilever arah Y	255
Gambar 4. 32 Poer Tipe 4.....	258
Gambar 4. 33 Permodelan Poer SW pada Etabs.....	258

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	37
Tabel 3. 2 Koefisien situs, Fa	39
Tabel 3. 3 Koefisien Situs, Fv	40
Tabel 3. 4 Nilai Ksh untuk komponen struktur paskatarik.....	46
Tabel 3. 5 Penjadwalan Pengerjaan Tugas Akhir.....	56
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	60
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	60
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Tebal Pelat Lantai Apartemen	70
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Tebal Pelat Atap	71
Tabel 4. 5 Beban Total yang diterima Kolom Lantai Atap	73
Tabel 4. 6 Beban Total yang diterima Kolom Lantai 37-28.....	74
Tabel 4. 7 Beban yang diterima Kolom Lantai 27-18.....	75
Tabel 4. 8 Beban yang diterima Kolom Lantai 17-8.....	76
Tabel 4. 9 Beban yang diterima Kolom Lantai 7-Lobby.....	77
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 1	94
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 2	94
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 3	94
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Apartemen dan Pelat Atap	102
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak	110
Tabel 4. 15 Rekapitulasi Penulangan Balok Penumpu Lift.....	117
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Pembebanan	119
Tabel 4. 17 Parameter Respon Spektrum dan Percepatan Spectral Desain.....	123
Tabel 4. 18 Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra.....	123
Tabel 4. 19 Modal Periode dan Frekuensi.....	125
Tabel 4. 20 Berat Seismik Bangunan Hasil ETABS	128
Tabel 4. 21 Gaya Geser Dasar Hasil ETABS.....	128

Tabel 4. 22 Gaya Geser Dasar hasil ETABS setelah Scale Factor	129
Tabel 4. 23 Kontrol Sistem Ganda	130
Tabel 4. 24 Modal Participating Mass Ratios.....	131
Tabel 4. 25 Batas Simpangan Gedung.....	133
Tabel 4. 26 Kontrol Simpangan Arah X.....	134
Tabel 4. 27 Kontrol Simpangan Arah Y.....	135
Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan Analisa Penampang Global Lantai Atap	142
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang	156
Tabel 4. 30 Rekapitulasi Balok Pratekan.....	172
Tabel 4. 31 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	179
Tabel 4. 32 Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Induk	191
Tabel 4. 33 Rekapitulasi Penulangan Longitudinal Penahan Torsi	195
Tabel 4. 34 Rekapitulasi Penulangan Geser Balok Induk	202
Tabel 4. 35 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik	208
Tabel 4. 36 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik	209
Tabel 4. 37 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik	210
Tabel 4. 38 Rekapitulasi Perencanaan Kolom.....	212
Tabel 4. 39 Rekapitulasi Perhitungan Syarat Panjang Joint	213
Tabel 4. 40 Rekapitulasi Perencanaan Shearwall	220
Tabel 4. 41 Beban pada Pondasi Tipe 1	222
Tabel 4. 42 Beban pada Pondasi Tipe 2	222
Tabel 4. 43 Beban pada Pondasi Tipe 3	223
Tabel 4. 44 Beban pada Pondasi Tipe 4	223
Tabel 4. 45 Beban pada Pondasi Tipe 5	224
Tabel 4. 46 Beban pada Pondasi Tipe 6	224
Tabel 4. 47 Beban pada Pondasi Tipe 7	225
Tabel 4. 48 Daya Dukung Tanah.....	227
Tabel 4. 49 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 1 .	232
Tabel 4. 50 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 2 .	233
Tabel 4. 51 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 3 .	233

Tabel 4. 52 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 4.	234
Tabel 4. 53 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 5.	234
Tabel 4. 54 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 6.	235
Tabel 4. 55 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 7.	235
Tabel 4. 56 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 1	236
Tabel 4. 57 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 2	237
Tabel 4. 58 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 3	237
Tabel 4. 59 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 4	238
Tabel 4. 60 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 5	238
Tabel 4. 61 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 6	239
Tabel 4. 62 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 7	239
Tabel 4. 63 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 1 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	244
Tabel 4. 64 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 2 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	244
Tabel 4. 65 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 3 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	245
Tabel 4. 66 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 4 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	245
Tabel 4. 67 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 5 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	246
Tabel 4. 68 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 6 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	246
Tabel 4. 69 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 7 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral	247

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk di kota Surabaya, kebutuhan masyarakat akan hunian tempat tinggal menjadi semakin meningkat. Namun ketersediaan lahan yang ada, berbanding terbalik dengan kebutuhan akan tempat tinggal di Surabaya. Menurut Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil, pertumbuhan penduduk untuk kota Surabaya terbilang meningkat tajam yang mencapai 50.000 jiwa tiap tahunnya, khususnya di Surabaya Barat yang jumlah penduduknya mencapai 446.627 jiwa per tahun 2014. Untuk menyiasati keterbatasan lahan tersebut, solusi yang dapat dilakukan adalah pembangunan hunian vertikal seperti gedung apartemen yang mampu menampung penghuni dengan jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah penghuni dalam suatu perumahan yang dibangun dalam luasan lahan yang sama. Oleh dari itu dilakukan pembangunan gedung Apartemen Puncak CBD (*Central Business District*) yang berlokasi di Kramat Kali, Wiyung, Surabaya Barat.

Pembangunan Apartemen Puncak CBD ini dirancang memiliki ketinggian 37 lantai, 1 *basement*, 4 lantai parkir, dan 1 lantai atap (*roof*). Metode yang digunakan dalam pembangunan apartemen ini adalah metode beton konvensional dan metode beton *precast*. Beton yang digunakan adalah beton bertulang biasa. Beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai keinginannya. (Lin dan Burns, 2000)

Selain metode beton bertulang dan *precast*, masih terdapat metode lain yang dapat diaplikasikan dalam pembangunan suatu gedung. Salah satu metode yang lazim digunakan yakni beton prategang atau pratekan yang merupakan kombinasi ideal dari dua bahan modern. Bahan tersebut adalah baja dan beton berkekuatan tinggi yang dengan cara “aktif” menarik baja dan menahannya ke beton sehingga beton berada dalam keadaan tertekan. Kombinasi

aktif ini membuat beton, yang kemampuan terhadap tariknya rendah, diperbaiki dengan cara memberikan tekanan lebih, sementara kemampuan menahan tekanannya tidak dikurangi. Seiring dengan perkembangan historis, pemberian tegangan tidak hanya dilakukan pada beton, namun juga terhadap baja. Pemberian gaya prategang berarti membuat tegangan permanen di dalam struktur dengan tujuan memperbaiki perilaku dan kekuatannya pada bermacam-macam pembebanan. (Lin dan Burns, 2000)

Pemakaian baja dan beton berkekuatan tinggi pada aplikasi balok pratekan menghasilkan batang-batang yang lebih ringan dan lebih langsing daripada beton bertulang. Kelebihannya yang bebas dari retak berpengaruh terhadap peningkatan daya tahan struktur dan kemampuan material untuk menyerap energi pada saat menerima beban. Pemanfaatan beton di dalam daerah tarik pada konsep beton pratekan dapat menghasilkan penghematan beton sebesar 15 sampai 30% dibandingkan dengan beton bertulang. Meskipun penghematan material tidak berdampak begitu besar dalam penghematan biaya, akibat kebutuhan untuk menghasilkan beton pratekan juga membutuhkan biaya tambahan, namun secara keseluruhan berkurangnya bobot mati akan mengurangi beban rencana dan biaya pondasi. (Raju, 1981)

Berdasarkan berbagai keuntungan beton pratekan yang telah disebutkan diatas, penulis ingin mengaplikasikan beton pratekan pada modifikasi perencanaan gedung apartemen CBD Wiyung ini. Modifikasi yang dilakukan dengan mempertimbangkan peraturan pembebanan gedung ini pun akan mengubah fungsi lantai ke 37 apartemen Puncak CBD yang semula sebagai unit kamar, menjadi ruang serbaguna. Modifikasi ini dimaksudkan untuk mengoptimasi kegunaan apartemen agar tidak hanya menjadi hunian, namun dapat dimanfaatkan sebagai ruang pertemuan, sekaligus meningkatkan nilai fungsi apartemen tersebut. Ruang serbaguna yang dapat digunakan sebagai ruang pertemuan tersebut direncanakan memiliki *space* yang luas dan nyaman sehingga perlu meminimalisasi adanya kolom bangunan di tengah ruangan. Maka dari itu penulis ingin menerapkan aplikasi beton pratekan pada

perencanaan balok di ruang serbaguna tersebut, sedangkan perencanaan struktur balok-kolom pada lantai lainnya akan menggunakan metode beton konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan umum dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah bagaimana merencanakan kembali Apartemen Puncak CBD Wiyung dengan mengubah lantai 37 menjadi ruang serbaguna yang mengaplikasikan beton pratekan sebagai desain perencanaannya. Adapun permasalahan khusus yang ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis pembebanan pada struktur gedung apartemen tersebut.
2. Bagaimana merencanakan struktur sekunder apartemen meliputi pelat lantai, tangga, balok anak, dan balok *lift*.
3. Bagaimana merencanakan struktur primer gedung meliputi balok induk, kolom, dan balok pratekan.
4. Bagaimana merencanakan struktur pondasi bangunan yang sesuai dengan kondisi tanah di lapangan dan beban yang dipikul.
5. Bagaimana menuangkan hasil modifikasi perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung ke dalam gambar teknik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari modifikasi perencanaan gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung adalah sebagai berikut:

1. Dapat menganalisis pembebanan pada struktur apartemen.
2. Dapat merencanakan struktur sekunder apartemen meliputi pelat lantai, tangga, balok anak, dan balok *lift*.
3. Dapat merencanakan struktur primer gedung meliputi balok induk, kolom, dan balok pratekan.
4. Dapat merencanakan struktur pondasi bangunan yang sesuai kondisi tanah di lapangan dan beban yang dipikul.
5. Dapat menuangkan hasil modifikasi perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung ke dalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam modifikasi perencanaan apartemen Puncak CBD Wiyung, yaitu:

1. Perencanaan ini tidak meninjau Rencana Anggaran Biaya
2. Perencanaan ini tidak meninjau segi arsitektural gedung
3. Perencanaan ini tidak merencanakan *basement*, utilitas bangunan, sanitasi air, instalasi listrik, *mechanical*, *plumbing*, dan *finishing*.

1.5 Manfaat

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

1. Mengerti cara mengaplikasikan beton pratekan pada bangunan gedung.
2. Dapat dijadikan acuan kedepannya untuk perencanaan gedung yang menggunakan metode beton pratekan
3. Mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan sehingga kegagalan struktur dapat dihindari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Dalam tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa dasar teori yang berkaitan dengan modifikasi perencanaan apartemen Puncak CBD Wiyung dengan menggunakan sistem ganda dan balok pratekan pada lantai atap. Letak bangunan apartemen yang berada pada zona gempa Surabaya dimana perancangan struktur gedung tahan gempa didasarkan pada tata acara SNI 1726:2012.

2.2. Beton Bertulang

Beton dalam konstruksi teknik didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung. Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen portland (s.p.) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar yang dipakai pada umumnya adalah kerikil atau batu pecah kecil (kricak) dan pasir sebagai agregat halus yang biasa digunakan. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen portland, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton. Beton pada dasarnya kuat menahan tekan tetapi lemah terhadap tarik, oleh karena itu beton dipadukan dengan baja tulangan yang kuat terhadap tarik sehingga didapatkanlah suatu kesatuan beton bertulang yang bisa digunakan pada konstruksi bangunan. Menurut SNI 2847:2013 beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa baja pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama

dalam memikul gaya-gaya. Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

2.3. Beton Pratekan

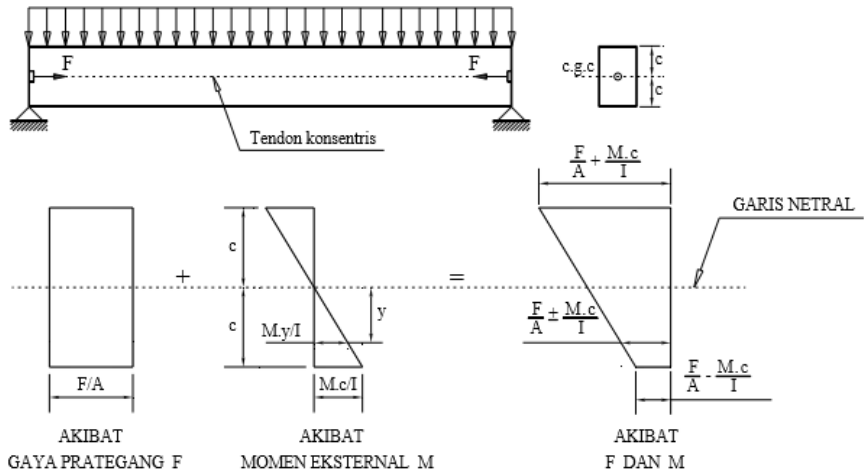
Beton pratekan merupakan kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja dengan mutu yang tinggi dikombinasikan dengan cara aktif. Cara aktif ini dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya ke beton sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja, tegangan tarik yang terjadi dapat dieliminasi oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

2.3.1. Prinsip Dasar Beton Pratekan

Beton pratekan dapat didefinisikan sebagai beton yang diberikan tegangan internal sebelum dikenakan beban. Ada 3 konsep yang digunakan untuk menganalisa sifat-sifat dasar beton pratekan:

Konsep pertama: *Sistem pratekan untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan yang elastis*

Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik akibat beban eksternal. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui gambar:



Gambar 2. 1 Konsep Beton Patekan sebagai bahan elastis (Soetoyo, 2011)

Tegangan lentur:
$$f = \frac{M \cdot c}{I}$$

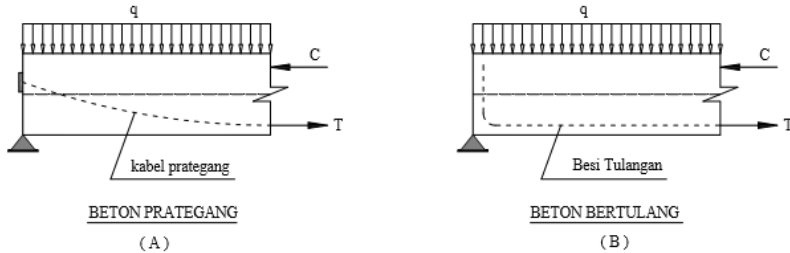
Dimana: M = momen lentur pada penampang yang ditinjau

c = jarak garis netral ke serat terluar penampang

I = momen inersia penampang

Konsep kedua: *Sistem pratekan untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi*

Konsep ini hamper sama dengan konsep beton bertulang biasa, yaitu beton pratekan merupakan kombinasi kerja sama antara baja pratekan dan beton, dimana beton menahan betan tekan dan baja pratekan menahan beban tarik. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:



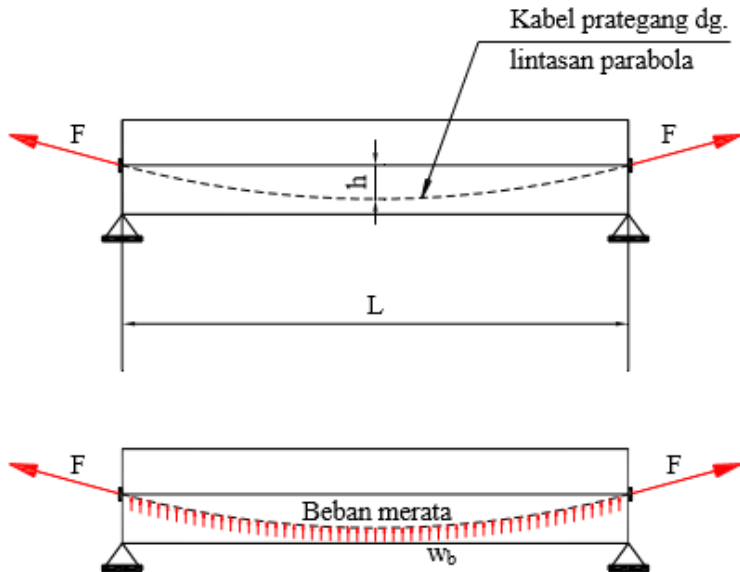
Gambar 2. 2 Konsep Beton Pratekan untuk kombinasi baja dan beton mutu tinggi
(Soetoyo, 2011)

Pada beton pratekan, baja pratekan ditarik dengan gaya pratekan T yang mana membentuk suatu kopel momen dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar.

Sedangkan pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik T akibat beban luar, yang juga membentuk kopel momen dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen luar akibat beban luar.

Konsep ketiga: *Sistem Pratekan untuk mencapai keseimbangan beban*

Sistem pratekan digunakan sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada desain struktur beton pratekan, pengaruh dari pratekan dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti pelat, balok dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Hal ini dapat dijelaskan sbagai berikut:



Gambar 2. 3 Konsep Beton Preakan untuk mencapai keseimbangan beban
(Soetoyo, 2011)

Suatu balok beton diatas dua perletakan (*simple beam*) yang diberi gaya pratekan F melalui suatu kabel pratekan dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya pratekan yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan:

$$w_b = \frac{8.F.h}{L^2}$$

Dimana:

- w_b = beban merata kearah atas, akibat gaya pratekan F
- h = tingi parabola lintasan kabel pratekan
- L = bentangan balok
- F = gaya pratekan

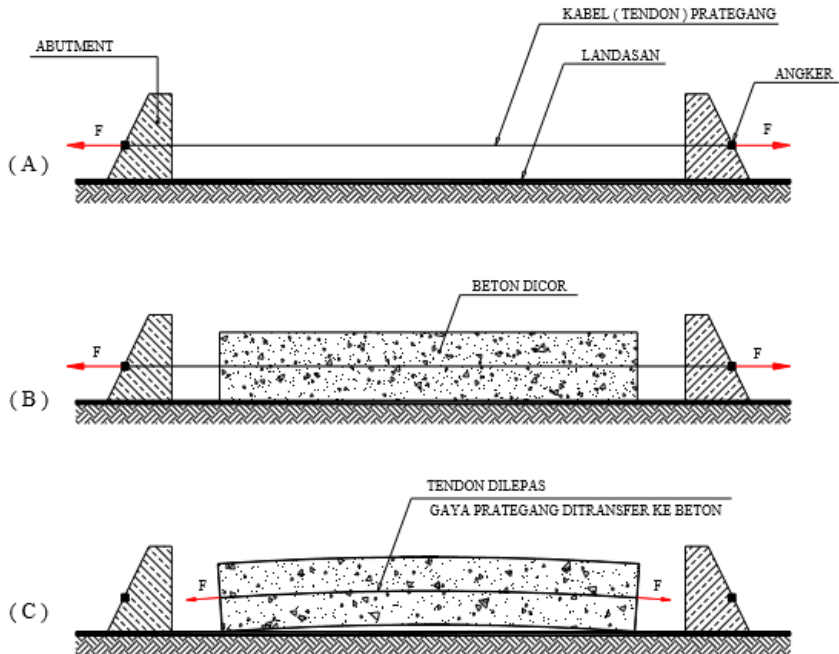
Jadi beban merata akibat beban (mengarah kebawah) diimbangi oleh gaya merata akibat pratekan w_b yang mengarah keatas.

2.3.2. Metode Pratekan

Pada dasarnya metode beton pratekan terdiri atas dua, yaitu:

2.3.2.1 Pratarik (*Pre-Tension Method*)

Pada metode ini baja pratekan diberi gaya pratekan dulu sebelum beton dicor. Prinsip pratarik ini secara singkat adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Konsep metode beton pratarik (Soetoyo,2011)

- Tahap 1 : Kabel (tendon) pratekan ditarik atau diberi gaya pratekan kemudian diangker pada suatu abutmen tetap (Gambar 2.4 A)
- Tahap 2 : Beton dicor pada cetakan (*formwork*) dan landasarn yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya pratekan dan dibiarkan mengering (Gambar 2.4 B)
- Tahap 3 : Setelah beton menering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya pratekan, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya pratekan ditransfer ke beton (Gambar 2.4 C)

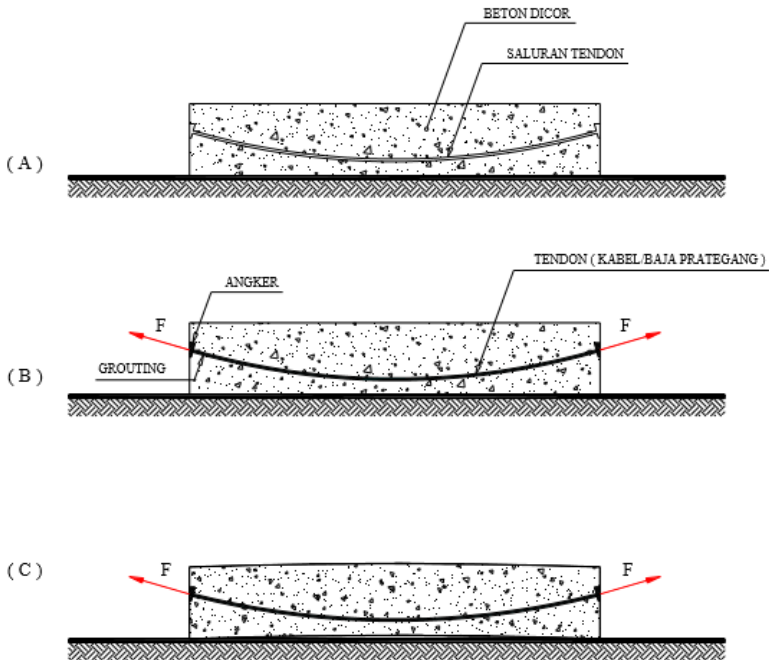
2.3.2.2 Pascatarik (Post-Tension Method)

Pada metode pascatarik, beton dicor terlebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*. Secara singkat metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Tahap 1: Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan lengkap dengan saluran/selongsong kabel pratekan (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai dengan bidang momen balok, beton dicor (Gambar 2.5 A)
- Tahap 2: Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya pratekan, tendon atau kabel pratekan dimasukkan dalam selongsong (*tendon duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya pratekan. Metode pemberian gaya pratekan ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik dikedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan. (Gambar 2.5 B).
- Tahap 3: Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, gaya pratekan telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya pratekan tendon

memberikan beban merata ke balok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas (Gambar 2.5 C)

Karena kendala distribusi, beton pratekan dengan sistem post-tension dilaksanakan secara segmental, kemudian pemberian gaya pratekan dilaksanakan di site, setelah balok segmental tersebut dirangkai.



Gambar 2. 5 Konsep metode beton pascatarik
(Soetoyo,2011)

2.3.3. Tahap Pembebanan

Beton pratekan memiliki dua tahap pembebanan:

1. Tahap Transfer

Untuk metode pratarik, tahap transfer terjadi saat angker dilepas dan gaya pratekan ditransfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel pratekan. Pada saat tersebut beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja, dan beban peralatan. Sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, jadi beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya pratekan yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya pratekan.

2. Tahap Servis

Setelah beton pratekan difungsikan sebagai komponen struktur, maka masuk ke tahap servis atau tahap layan. Pada tahap ini, beban hidup, angin, gempa, dan sebagainya mulai bekerja. Sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya pratekan sudah harus dipertimbangkan didalam analisa struktur.

Pada setiap tahap pembebanan pada beton pratekan harus selalu dianalisis terhadap kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan ijin nilai retak terhadap nilai batas yang diijinkan.

2.3.4. Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan gaya pratekan itu adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Secara umum kehilangan gaya pratekan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Immediate Elastic Losses*

Kehilangan gaya pratekan langsung atau segera setelah beton diberi gaya pratekan. Kehilangan gaya pratekan secara langsung ini disebabkan oleh:

- 1) Perpendekan Elastik Beton.

- 2) Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang kelengkungan dari tendon, ini terjadi pada beton pratekan dengan sistem *post tension*.
- 3) Kehilangan pada sistem angkur, antara lain akibat slip diangkur

2. *Time dependent Losses*

Kehilangan gaya pratekan akibat dari pengaruh waktu disebabkan oleh:

- 1) Rangkak (*creep*) dan Susut pada beton
- 2) Pengaruh temperatur
- 3) Relaksasi baja pratekan

2.3.5. Desain Terhadap Lentur

1. Tahap Pembebanan pada balok pratekan:

- a. Gaya pratekan awal P_i pada kondisi transfer, yaitu pada saat gaya pratekan ditransfer dari strand (*tendon*) ke beton.
- b. Beban mati total W_D dapat di-asumsikan bekerja bersama-sama P_i jika balok ditumpu sederhana (tanpa perancah).
- c. Perlu dipertimbangkan jika ada beban mati tambahan seperti beban pekerja, peralatan dll, W_{SD} (*Superimposed dead load*)
- d. Akibat kehilangan gaya pratekan jangka pendek (*short term losses*), menyebabkan gaya pratekan menjadi P_{eo}
- e. Pada saat layan (*service condition*) diperhitungkan beban-beban hidup (*liveload*, beban gempa *earthquake load*) dll. Pada saat ini akibat kehilangan gaya pratekan akibat pengaruh waktu (*long term losses*) gaya pratekan efektif menjadi P_e
- f. Beban lebih (*overload*) pada kondisi-kondisi tertentu, hal ini mengarah pada kondisi batas pada keadaan unlimited.

Hal-hal yang harus dihindari:

- 1) Pada saat operasi penarikan tendon:
 - Putusnya tendon
 - Gagalnya ankur
- 2) Pada transfer gaya pratekan:
 - Retak/*crushing* beton (akibat gaya prestress)
 - Retak pada daerah anker.
- 3) Pada kondisi layan:
 - Putusnya tendon
 - Retak yang berlebihan
- 4) Pada kondisi beban batas:
 - Retak/*crushing* beton
 - Keruntuhan geser

2. Tegangan yang diijinkan pada tendon pratekan

(Sesuai ACI dan SNI)

Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi:

- a. Akibat gaya penarikan (*jacking*):
Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,94 f_{py}$ dan harus lebih kecil dari:
 - $0,80 f_{pu}$
 - Nilai maksimum yang direkomendasikan oleh produsen tendon
- b. Segera setelah transfer gaya pratekan:
Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,82 f_{py}$ dan tidak boleh lebih besar dari: $0,74 f_{pu}$.
- c. Pada beton pratekan dengan sistem pasca tarik, pada daerah ankur dan sambungan segera setelah penyaluran gaya pratekan, tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,70 f_{pu}$.

Dimana:

f_{py} = tegangan leleh baja pratekan (tendon)

f_{pu} = tegangan *ultimate* baja pratekan (tendon)

3. Pemilihan Penampang

Pada kondisi layan, balok diasumsikan homogen dan elastik, sedangkan pemilihan penampang biasanya didasarkan pada modulus penampang minimum yang diperlukan untuk menahan semua pembebanan setelah terjadinya kehilangan pratekan. Ditinjau balok pratekan di bawah ini.

Tegangan beton ditengah-tengah balok dapat ditulis:

- Kontrol gaya pratekan akibat beban mati dan pelat

$$\sigma_{top} \leq \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_t} + \frac{M_{total}}{W_t}$$

$$\sigma_{bottom} \geq \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_b} - \frac{M_{total}}{W_b}$$

- Kontrol gaya pratekan setelah kehilangan pratekan

$$\sigma_{top} \geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_t} + \frac{M_{total}}{W_t}$$

$$\sigma_{bottom} \leq \frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_b} - \frac{M_{total}}{W_b}$$

dimana:

F = gaya pratekan yang diberikan

A = luasan penampang beton

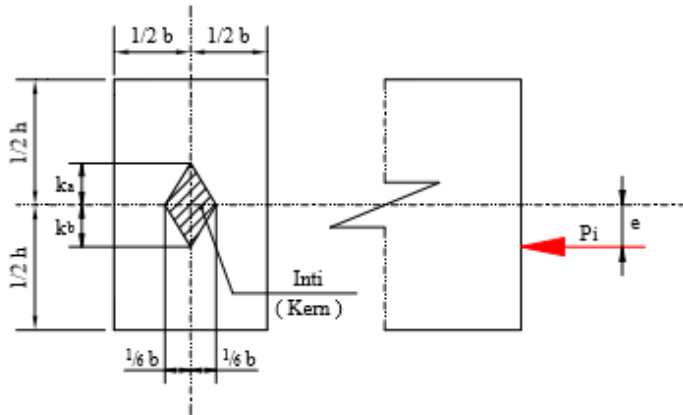
e = eksentrisitas antara kabel pratekan dengan sumbu netral beton

W = momen resisten beton (I/y)

Mtotal= momen total yang terjadi

4. Daerah Batas Penempatan Tendon

Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan oleh peraturan yang ada. Oleh karena itu perlu ditentukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya pratekan dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton.



Gambar 2. 6 Daerah batas penempatan tendon
(Soetoyo, 2011)

Tegangan tarik pada serat beton yang paling atas akibat gaya pratekan P_i .

$$f_a = -\frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{I_c} = 0 \rightarrow I_c = r^2 \cdot A_c$$

$$-\frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \cdot e \cdot y_a}{r^2 \cdot A_c} = 0$$

$$-\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e \cdot y_a}{r^2} \right) = 0$$

$$e = \frac{r^2}{y_a} \rightarrow \text{batas titik inti (kern) terbawah:}$$

$$\text{Jadi } k_b = \frac{r^2}{y_a} \rightarrow r^2 = \frac{I_c}{A_c} = \frac{\frac{1}{2}b.h^3}{b.h} = \frac{1}{2}h^2 \text{ dan } y_a = \frac{1}{2}h$$

$$\text{Jadi } k_b = \frac{\frac{1}{2}h^2}{\frac{1}{2}h} = \frac{1}{6}h$$

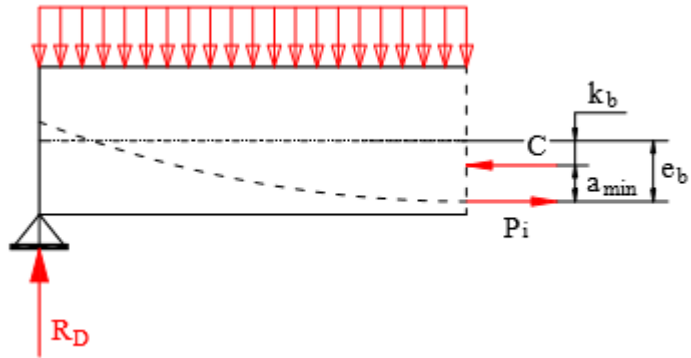
Dengan cara yang sama dapat dihitung pula batas titik inti (kern) teratas:

$$k_b = \frac{r^2}{y_a} \rightarrow r^2 = \frac{I_c}{A_c} = \frac{\frac{1}{2}b.h^3}{b.h} = \frac{1}{2}h^2$$

Demikian pula untuk arah mendatar dapat diketahui batas titik inti dari titik berat penampang: $1/6 b$

5. Daerah Batas Eksentrisitas disepanjang Balok

Eksentrisitas rencana tendon disepanjang bentangan balok haruslah sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang timbul pada serat penampang yang dikontrol atau ditinjau terbatas atau tidak ada sama sekali. Jika MD adalah momen akibat beban mati (M_{\min}), maka lengan kopel antara garis pusat tekanan (C – line) dan garis pusat tendon (cgs) adalah a_{\min} (lihat gambar dibawah ini)



Gambar 2. 7 Daerah batas eksentrisitas
(Soetoyo, 2011)

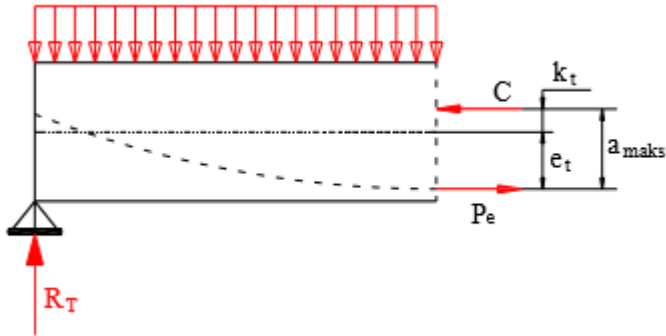
$$M_D = M_{\min} = P_i \times a_{\min}$$

$$a_{\min} = \frac{M_D}{P_i}$$

Nilai ini menunjukkan jarak maksimum dibawah batas bawah (terendah) daerah kern (inti).

$$e_b = (a_{\min} + k_b)$$

Jika M_T adalah momen total akibat beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup (M_{\max}), maka lengan kopel antara garis pusat tekanan (C – line) dan garis dan garis pusat tendon (cgs) adalah a_{\max} (lihat gambar dibawah)



Gambar 2. 8 Daerah batas eksentrisitas
(Soetoyo, 2011)

$$M_T = M_{Maks} = P_e \times a_{maks}$$

$$a_{maks} = \frac{M_T}{P_e}$$

$$e_t = (a_{maks} - k_t)$$

Tegangan tarik dengan batasan nilai tertentu biasanya diijinkan oleh beberapa peraturan yang ada, baik pada saat transfer maupun pada saat kondisi layan. Jika hal ini diperhitungkan, maka cgs dapat diteMPatkan sedikit diluar batas e_b dan e_t .

2.4. *Shear Wall*

Shear wall atau dinding geser adalah elemen struktur berbentuk dinding beton bertulang yang berfungsi untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi atau gaya lainnya pada gedung bertingkat dan bangunan tinggi. Letak *shear wall* pada bangunan gedung sangat tergantung dari beberapa faktor antara lain tingkat simetrisitas bangunan, tinggi bangunan, dan asumsi dari perencana. Penentuan lokasi dan perhitungan shear wall harus

direncanakan sesuai dasar-dasar perencanaan yang kuat. *Shear wall* pada gedung biasanya menggunakan mutu beton di atas $f_c' 30$ MPa.

Dua fungsi utama dari *shear wall* adalah sebagai kekuatan dan sebagai pengaku. Fungsi *shear wall* sebagai kekuatan adalah diharapkan mampu menahan segala beban seperti beban geser, lateral, dan sebagainya. Sedangkan fungsi *shear wall* sebagai pengaku adalah menahan goyangan-goyangan yang terjadi pada bangunan akibat gempa bumi sehingga semua elemen struktur mempunyai tingkat kekakuan yang sama. Jika ada salah satu elemen struktur yang tidak kaku maka akan terjadi tingkat kerusakan pada seluruh bangunan.

Beberapa jenis *shear wall* diantaranya:

a. *Bearing wall*

Bearing wall adalah jenis dinding geser yang mempunyai fungsi lain sebagai penahan beban gravitasi.

b. *Frame wall*

Frame wall adalah dinding geser yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral, geser dan pengaku pada sisi luar bangunan. Dinding ini terletak di antara dua kolom struktur.

c. *Core wall*

Core wall adalah jenis dinding geser yang terletak di pusat-pusat massa bangunan yang berfungsi sebagai pengaku bangunan gedung. Biasanya *core wall* diletakkan pada lubang Lift yang berfungsi sebagai dinding lift sekaligus.

2.5. Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah yang diterima dari kolom. Struktur pondasi sangat penting meningat sebagai struktur terbawah dalam menahan beban struktur di atasnya. Terdapat dua macam pondasi yaitu pondasi dangkal dan

pondasi dalam. Dikatakan pondasi dangkal apabila perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dengan diameternya (B) kurang dari 4 atau lima ($\frac{D}{B} < 4$ atau 5). Sedangkan pondasi dalam memiliki perbandingan kedalaman pondasi dengan diameternya lebih besar sama dengan 10 ($\frac{D}{B} \geq 10$) (Wahyudi, 1999). Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan pondasi diantaranya adalah jenis tanah, kondisi tanah, dan struktur tanah. Hal tersebut sangat berkaitan dengan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya. Pada perencanaan pondasi gedung apartemen Puncak CBD Wiyung Surabaya menggunakan pondasi tiang pancang yang termasuk jenis pondasi dalam.

2.5.1. Daya Dukung Pondasi

Perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT).

Persamaan Luciano Decourt:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:

Q_L = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = resistance ultimit di dasar pondasi

Q_s = resistance ultimit akibat tekanan lateral

$$Q_p = q_p \times A_p \times \alpha = (N_p \times K) \times A_p \times \alpha$$

$$Q_s = q_s \times A_s \times \beta = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \times \beta$$

Dimana:

N_p = harga rata-rata STP disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi

$$= \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n}$$

B	= diameter dasar pondasi	
K	= koefisien karakteristik tanah	
	$= 12 \text{ t/m}^2 = 117.7 \text{ kPa}$	(lempung)
	$20 \text{ t/m}^2 = 196 \text{ kPa}$	(lanau)
	berlempung)	
	$25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa}$	(lanau berpasir)
	$40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa}$	(pasir)
A_p	= luas penampang dasar tiang	
q_p	= tegangan diujung tiang	
N_s	= harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batas $3 \leq N_s \leq 50$	
A_s	= luas selimut tiang	
q_s	= tegangan akibat lekatan lateral t/m^2	
α dan β	= koefisien berdasarkan tipe pondasi dan jenis tanah	

2.5.2. Daya Dukung Grup Tiang Pancang

Daya dukung tiang pancang akan mengalami perbedaan saat berada dalam 1 grup tiang pancang. Untuk kasus daya dukung pondasi, harus diperhitungkan faktor koreksi yang menjadi efisiensi dari grup tiang pancang.

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1\text{tiang})} \times n \times C_e$$

Dimana:

Q_L	= daya dukung tiap tiang pancang
N	= jumlah tiang dalam grup
C_e	= efisiensi grup tiang pancang

Halaman ini sengaja dikosongkan

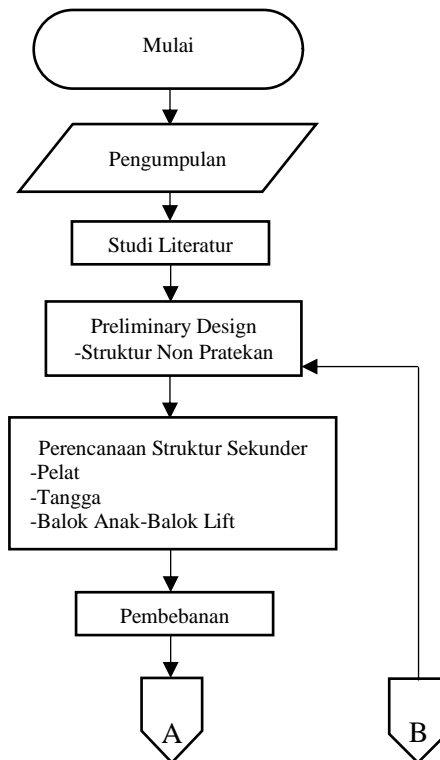
BAB III METODOLOGI

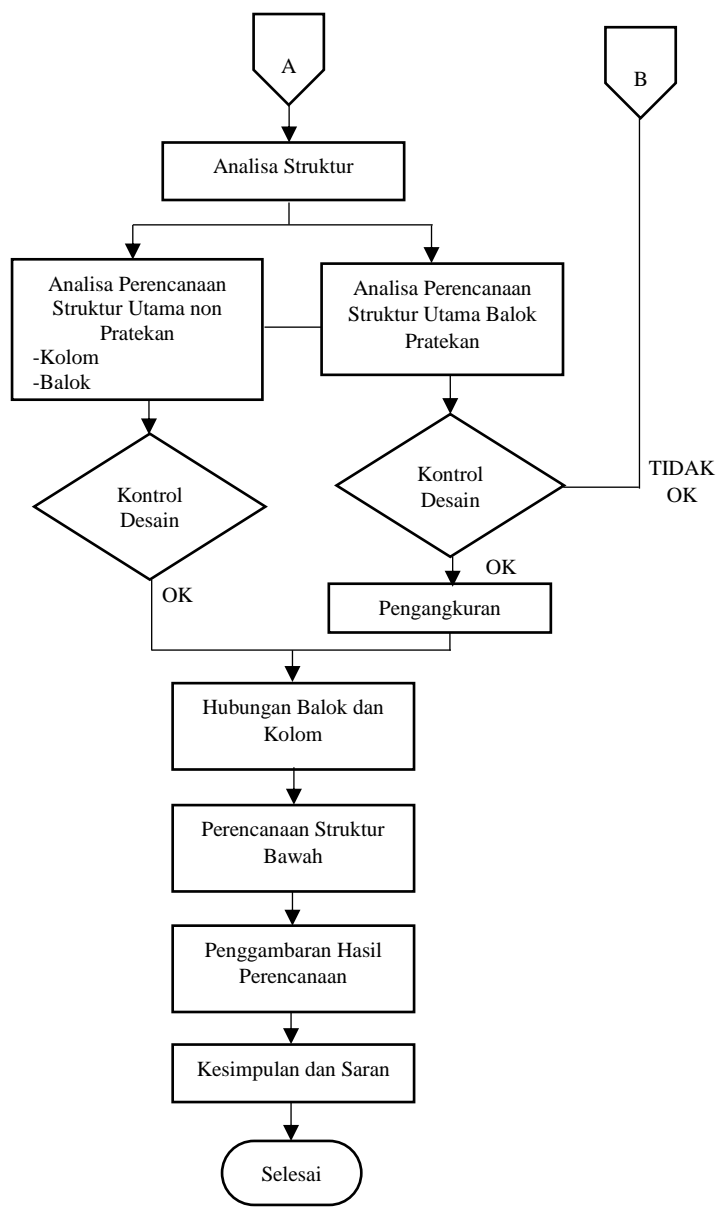
3.1 Umum

Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini diperlukan metode penyelesaian yang jelas dan sistematis. Maka pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah penyelesaian TA sesuai dengan urutan pekerjaan yang digunakan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini dengan baik dan efektif.

3.2 Diagram Alir

Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini menurut urutan pelaksanaannya dapat dilihat melalui diagram alir berikut ini:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penyelesaian Tugas Akhir

3.3 Pengumpulan Data

Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu data gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung

Data Gedung Sebelum dimodifikasi

Tipe Bangunan	: Gedung Apartemen
Lokasi	: Jalan Kramat Kali Wiyung, Surabaya Barat
Ketinggian Lantai	
• Basement (B1)	: 3,5 m
• Lobby	: 4,0 m
• Lantai Parkir 1-4	: 13,15 m
• Lantai 1-37	: 109,6 m
Tinggi Total Bangunan	: 126,75 m
Mutu Beton (f_c')	: 40 MPa
Mutu Baja (f_y)	: 400 MPa
Data Tanah	: Terlampir
Data Gambar	: Terlampir

Data Gedung Setelah dimodifikasi

Tipe Bangunan	: Gedung Apartemen
Lokasi	: Jalan Kramat Kali Wiyung, Surabaya Barat
Ketinggian Lantai	
• Lobby	: 3,0 m
• Lantai Parkir 1-4	: 9 m
• Lantai 1-37	: 109,6 m
Tinggi Total Bangunan	: 121,6 m
Mutu Beton (f_c')	: 40 MPa
Mutu Baja (f_y)	: 400 MPa
Data Tanah	: Terlampir
Data Gambar	: Terlampir

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka dan peraturan mengenai perancangan beton pratekan dan struktur gedung secara umum yang akan sangat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur tersebut diantaranya:

1. SNI 2847:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726: 2012 Struktur Gedung Tahan Gempa
3. SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain
4. Desain Struktur Beton Pratekan Jilid 1 (T.Y Lin)

3.5 Perencanaan Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder dipisah dari perencanaan struktur utama karena melalui struktur sekunder lah beban diteruskan ke struktur utama. Perencanaan struktur sekunder antara lain:

3.5.1 Perencanaan Pelat

3.5.1.1 Perencanaan Dimensi Pelat

- 1) Penentuan Tebal minimum pelat sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.2
 - Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang diantara dua tumpuan dan memiliki $\alpha_{fm} \leq 0,2$, harus memenuhi ketentuan tabel 9.5(c) dan tidak kurang dari:
 - (a.) 125 mm untuk tebal pelat tanpa panel drop
 - (b.) 100 mm untuk tebal pelat dengan panel drop

Syarat ketebalan pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3:

- Untuk $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta \cdot (\alpha \cdot f_m - 0,2)} \quad (3.1)$$

dan tidak boleh < 125 mm

- Untuk $\alpha f_m \geq 2$ ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (3.2)$$

dan tidak boleh < 90 mm

- Dengan nilai β

$$- \beta = \frac{L_n}{S_n} < 2 \text{ untuk pelat 2} \quad (3.3)$$

arah

$$- \beta = \frac{L_n}{S_n} > 2 \text{ untuk pelat 1} \quad (3.4)$$

arah

Keterangan:

ℓ_n = panjang bentang bersih arah memanjang pelat (m)

β = rasio panjang bentang arah memanjang dengan arah memendek pelat

αf_m = nilai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu pelat

αf = rasio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekakuan pelat

f_y = kuat leleh baja non-pratekan (MPa)

2) Menentukan Lebar Efektif

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 8.12.2 dan Pasal 8.12.3 disebutkan bahwa kriteria menentukan lebar efektif (b_e) dari:

- Balok Interior tidak boleh melebihi:

$$b_e = \frac{1}{4} L \quad (3.5)$$

$$b_e = b_w + 8t \quad (3.6)$$

$$b_e = b_w + \frac{1}{2} S \quad (3.7)$$

- Balok eksterior

$$b_e = \frac{1}{12} L \quad (3.8)$$

$$b_e = b_w + 6t \quad (3.9)$$

$$b_e = b_w + \frac{1}{2} S \quad (3.10)$$

3.5.1.2 Penulangan Pelat Lantai

a. Penulangan arah x

$$A_{spakai} = n \times \frac{1}{4} \pi \times d^2 \quad (3.11)$$

$$\text{Kontrol: } \rho_{pakai} = \frac{A_{spakai}}{1000 \times d_x} \quad (3.12)$$

Jarak tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.6.5

$S \leq 3d$ atau

$S < 450 \text{ mm}$

b. Penulangan arah y

Perhitungan tulangan arah y sama dengan perhitungan penulangan arah x.

3.5.2 Perencanaan Dimensi Tangga

Persyaratan dalam perencanaan dimensi tangga adalah sebagai berikut

$$60 \text{ cm} \leq (2t+i) \leq 65 \text{ cm} \quad (3.13)$$

dimana

t = tinggi tanjakan

i = lebar injakan

α = sudut kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$)

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol).

3.5.3 Perencanaan Balok Lift

Balok lift (mengacu pada brosur)

3.5.4 Perencanaan Balok Anak

3.5.4.1 Perencanaan Dimensi Balok Anak

Perencanaan balok anak mengikuti peraturan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.2

- Perencanaan tinggi balok anak

$$h = \frac{l}{21} \quad (3.14)$$

- Perencanaan Lebar balok anak

$$b = \frac{2}{3} h \quad (3.15)$$

Catatan:

- Panjang bentang dalam mm

$$\text{- Untuk } f_y \text{ selain 420 MPa, nilai } = h \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad (3.16)$$

3.5.4.2 Penulangan Balok Anak

Penulangan balok anak terdiri dari penulangan lentur dan penulangan geser

a. Penulangan Lentur

- *Penulangan daerah tumpuan*

Kontrol kuat lentur nominal

$$a = \frac{A_{s\text{tarik}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} \quad (3.17)$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{y} \right) \quad (3.18)$$

$$\phi M_n > Mu \quad (3.19)$$

Dimana:

Mn = kuat lentur nominal balok anak

Mu = momen terfaktor pada penampang

- *Penulangan daerah lapangan*

Rumus yang digunakan sama dengan penulangan daerah tumpuan

b. Penulangan Geser

- *Penulangan daerah tumpuan*

Kuat geser beton:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (3.20)$$

dimana:

Φ = 0,75 (menurut SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Vc = kuat geser nominal

b = lebar balok anak

d = panjang balok anak

Cek persyaratan:

Jika $V_u > 0.5\Phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser.

Berdasarkan SNI 2847-2013 batas spasi tulanga geser tidak melebihi $d/2$.

$$S_{\max} = \frac{d'}{2} \quad (3.21)$$

$$V = \frac{A_v \times f_y \times d'}{s} \quad (3.22)$$

- *Penulangan daerah lapangan*
Perhitungan penulangan daerah lapangan sama dengan penulangan daerah tumpuan.

3.6 *Preliminary Design*

Preliminary design ini dilakukan dengan memperkirakan dimensi awal dari struktur sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013, yang berupa:

3.6.1 *Preliminary Design Struktur Beton Bertulang*

3.6.1.1 *Perencanaan Balok*

- a. Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan dimensi balok mengikuti peraturan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1

Untuk balok induk:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} l \quad (3.23)$$

Untuk balok anak:

$$h_{\min} = \frac{1}{21} l \quad (3.34)$$

Catatan:

Untuk f_y selain 420 MPa, nilai

$$= h \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad (3.35)$$

$$b_w = \frac{2}{3} \times h_{\min} \quad (3.36)$$

SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.3 mengatur tentang lebar balok (b_w) tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari $0,3 h_{\min}$ dan 250 mm.

b. Penulangan Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur balok adalah sebagai berikut:

- Menentukan data-data dari d , f_y , f'_c , dan M_u
- Menentukan harga β_1 (SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7.3)

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (3.27)$$

- Menentukan Batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan sebagai berikut:

Menurut SNI 2847:2013 lampiran V (8.4.2)

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.28)$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1:

$$\rho_{\max} = 0,025 \quad (3.29)$$

Menurut SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \quad (3.30)$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1:

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d \quad (3.31)$$

$$\text{dan } \geq \rho_{\min} = \frac{0,4}{f_y} \times b_w \times d \quad (3.32)$$

Dari kedua harga ρ_{\min} tersebut, harga yang terbesar lah yang menentukan.

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \quad (3.33)$$

- Menentukan R_n berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.7

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3.34)$$

Diketahui harga $\phi = 0,75$

- Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (3.35)$$

Dimana: $\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

- Menentukan luas tulangan (A_s) dari ρ yang didapat dari

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \quad \text{dimana} \quad (3.36)$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

- Menentukan jumlah dan jarak tulangan

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b - n \times \phi \cdot L - 2d' - 2\phi \cdot S}{n - 1}$$

dimana:

b = lebar pelat per satuan meter

d = tinggi pelat

ρ = rasio tulangan

A_s = luas tulangan perlu

f_y = mutu baja (MPa)

f_c' = mutu beton (MPa)

3.6.1.2 Perencanaan Kolom

Penentuan dimensi kolom dapat diambil dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{0,35 \times f'c}$$

dimana,

W = beban aksial yang diterima kolom
 = 1,2 D + 1,6 L
 f'c = kuat tekan beton karakteristik
 A = luas penampang kolom

3.6.2 Preliminary Design Balok Struktur Pratekan

3.6.2.1 Penentuan Dimensi Balok Pratekan

Menentukan dimensi awal balok pratekan yang akan digunakan sesuai dengan SNI 2847:2013. Penampang awal beton pratekan didesain berdasarkan ketentuan Pasal 18. Selain itu dapat juga digunakan asumsi yang sesuai dengan ketentuan tinggi dimensi balok.

Tinggi balok pratekan:

$$h_{\min} = \frac{l}{20} \quad (3.40)$$

Lebar balok pratekan:

$$b = \frac{2h}{3} \quad (3.41)$$

3.7 Pembebanan dan Analisis Struktur

Penggunaan beban yang ada mengikuti peraturan yang ada di SNI 1727:2013 dan kombinasi pembebanan menggunakan SNI 1727:2013 Pasal 2.3.2 antara lain:

3.7.1 Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri struktur, dinding, pelat, serta berat peralatan layan terpasang lainnya (SNI 1727:2013 Pasal 3.1.1)

3.7.2 Beban Hidup

Beban hidup untuk lantai ballroom adalah 4,79 kN/m², lantai hotel 1,92 kN/m², 0,96 kN/m² untuk beban atap datar.

3.7.3 Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726:2012, dimana gempa yang digunakan merupakan gempa dinamik. Pada tugas akhir ini digunakan analisis gempa dengan menggunakan respon spectrum. Perhitungan nilai V , menggunakan V_{statik} , yaitu dengan rumus sebagai berikut: (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1)

$$V = C_s \times W \quad (3.42)$$

dimana:

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

Tahapan yang dilakukan untuk memperoleh nilai V :

- Menentukan Kategori Resiko Bangunan
Penentuan kategori resiko bangunan terdapat pada **Tabel 3.1**, maka gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung termasuk dalam kategori II.

Tabel 3. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki nilai risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah took dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatas untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses penanganan, penyimpanan, penggunaan, atau tempat pembuangan bahan</p>	III

bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan peracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
--	--

- Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
Faktor keutamaan gempa dapat diketahui nilainya tergantung pada resiko bangunan, oleh karena kategori resiko masuk ke dalam kategori III, maka nilai I_e adalah 1,25.
- Menentukan nilai S_s dan S_1
 - Nilai S_s , untuk Surabaya dapat dilihat pada **Gambar 3.2** adalah 0,6 g
 - Nilai S_1 , untuk Surabaya dapat dilihat pada **Gambar 3.3** adalah 0,25 g
- Menentukan nilai F_a dan F_v sesuai **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3**

Tabel 3. 2 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 3. 3 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Catatan

- Untuk nilai antara S_s dan S_1 dapat dilakukan interpolasi
- SS = situs untuk memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

- Menghitung nilai SM_s dan SM_1

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.43)$$

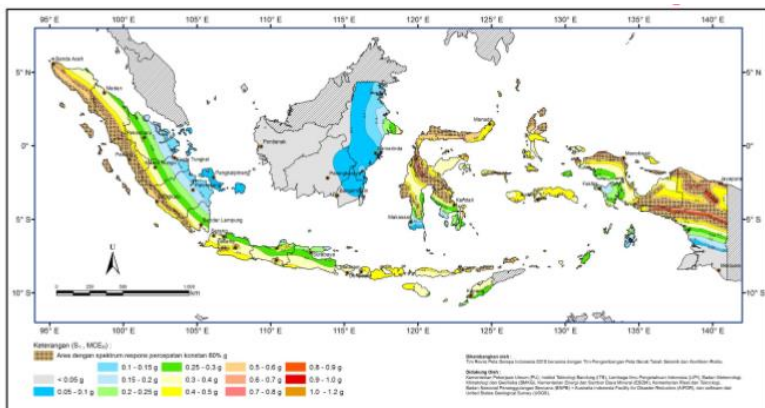
$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.44)$$

- Menghitung SD_s dan SD_1

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.45)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.46)$$

- Menghitung nilai V (geser dasar seismik)
Perhitungan nilai V mengikuti persamaan (3.23)



3.7.4 Kombinasi

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.2.1 sehingga struktur memenuhi syarat keamanan.

3.7.5 Analisa berdasarkan Gempa Dinamis

Dalam perencanaan yang dimodelkan dalam program bantu ETABS, hasil Analisa struktur gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung perlu dikontrol sesuai dengan batasan dan peraturan sesuai dengan SNI 1726:2012, diantaranya adalah:

- Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental
- Kontrol Gaya Geser Dasar
- Kontrol Dual System
- Kontrol Partisipasi Massa
- Kontrol Drift

3.8 Analisa Struktur

3.8.1 Analisa Struktur Utama Pratekan

Dalam perencanaan beton pratekan, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.8.1.1 Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan dua tahap pembebanan yaitu:

1. Tahap Awal

Tahap dimana struktur diberi gaya pratekan tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini terdiri dari:

- a. Sebelum diberi gaya pratekan
- b. Pada saat diberi gaya pratekan
- c. Pada saat peralihan gaya pratekan

2. Tahap Akhir

Merupakan tahap dimana beban mati tambahan dan beban hidup telah bekerja pada struktur. Beban terdiri dari beban mati berupa berat beton sendiri, berat pelat, dan beban hidup.

3.8.1.2 Gaya Pratekan

Penentuan gaya pratekan awal diperoleh dari tegangan ijin beton sesuai SNI 2847:2013 pasal 18.3.3 dan 18.4. Kemudian gaya pratekan tersebut dikontrol kembali terhadap tegangan ijin beton sehingga diperoleh hasil yang memenuhi sesuai tegangan ijin yang terjadi baik saat setelah gaya peralihan dan saat kondisi beban layan

- Kontrol gaya pratekan akibat beban mati dan pelat

$$\sigma_{top} \leq \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_t} + \frac{M_{total}}{W_t} \quad (3.47)$$

$$\sigma_{bottom} \geq \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_b} - \frac{M_{total}}{W_b} \quad (3.48)$$

- Kontrol gaya pratekan setelah kehilangan pratekan

$$\sigma_{top} \geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_t} + \frac{M_{total}}{W_t} \quad (3.49)$$

$$\sigma_{bottom} \leq \frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_b} - \frac{M_{total}}{W_b} \quad (3.50)$$

dimana:

F = gaya pratekan yang diberikan

A = luasan penampang beton

e = eksentrisitas antara kabel pratekan dengan sumbu netral beton

W = momen resisten beton (I/y)

M_{total} = momen total yang terjadi

3.8.1.3 Pemilihan Tendon Baja Pratekan

Pemilihan tendon baja pratekan sangat dipengaruhi oleh gaya pratekan yang ada. Pemilihan tendon harus disesuaikan dengan tegangan ijin yang berlaku pada SNI 2847:2013 Pasal 18.5.1.

Tegangan Tarik pada baja pratekan tidak boleh melebihi berikut ini:

- Akibat gaya penarikan (*jacking*) baja pratekan

$$\sigma = 0,94.f_{py} \quad \text{atau} \quad (3.51)$$

$$\sigma \leq 0,80.f_{pu}$$

- Tendon pasca Tarik sesaat setelah transfer

$$\sigma = 0,70.f_{pu} \quad (3.52)$$

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut:

- Tegangan ijin pada saat pemberian gaya pratekan (sebelum kehilangan)

$$\sigma = 0,60.f_{ci} \quad (\text{Tegangan tekan serat terluar})$$

$$\sigma = 0,50\sqrt{f_{ci}} \quad (\text{Tegangan tarik serat terluar})$$

dimana f_{ci} = kuat tekan beton pada saat *jacking*

- Tegangan ijin pada saat beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan

$$0,45.f_c' \quad (\text{Tegangan tekan serat terluar})$$

$$f_t \leq 0,62\sqrt{f_c'} \quad (\text{Tegangan tarik serat terluar kelas U})$$

$$0,62\sqrt{f_c'} \leq f_t \leq \sqrt{f_c'} \quad (\text{Tegangan tarik serat terluar kelas T})$$

$$f_t \geq \sqrt{f_c'} \quad (\text{Tegangan tarik serat terluar kelas T})$$

Setiap memilih tendon baja pratekan, maka dilanjutkan dengan menentukan tata letak kabel sesuai dengan batas yang telah ditetapkan pada peraturan SNI 2847:2013. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh jenis kabel yang digunakan, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

3.8.1.4 Kehilangan Pratekan

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan pada tendon pada saat tertentu dibanding pada saat *stressing* sesuai SNI 2847:2013 pasal 18.6.

1. Kehilangan segera (kehilangan langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok yang terdiri dari:

a. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton

Perhitungan kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan elastis adalah sebagai berikut:

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{cir}}{E_{ci}} \quad (3.59)$$

dimana:

K_{es} = 1,0 untuk komponen struktur pratarik

E_s = modulus elastisitas baja

E_{ci} = modulus elastisitas beton

f_{cir} = tegangan pada penampang beton (F_o/A)

2. Kehilangan yang tergantung oleh waktu (kehilangan tidak langsung)

a. Kehilangan akibat susut beton

Kehilangan gaya pratekan akibat susut beton pada komponen pascatarik dihitung dari persamaan berikut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times (1 - 0,06 \frac{V}{S}) (100 - \frac{3,6}{0} RH)$$

dimana:

$\frac{V}{S}$ = ratio volume dan luas permukaan, koefisien

$0,06 \frac{V}{S}$ dalam satuan inch dan $0,0236 \frac{V}{S}$ dalam

satuan cm.

Ksh= 1 untuk beton pratarik. Untuk metode pascatarik akan ditentukan pada tabel 3.4

RH= kelembapan relatif udara sekitar

Tabel 3. 4 Nilai Ksh untuk komponen struktur pascatarik

Jangka waktu setelah perawatan basah sampai pada penerapan pratekan, hari	Ksh
1	0.92
3	0.85
5	0.80
7	0.77
10	0.73
20	0.64
30	0.58
60	0.45

(Sumber: Lyn dan Burns, 2000)

b. Kehilangan akibat rangkai beton

Kehilangan gaya pratekan akibat rangkai untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{cds}) \quad (3.61)$$

dimana:

K_{cr} = 1,6 untuk komponen struktur pasca tarik

f_{cir} = tegangan pada penampang beton (Fo/A)

f_{cds} = tegangan beton pada garis berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya pratekan

c. Kehilangan akibat relaksasi baja

Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja, diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} \times J(SH + CR + ES) \times C] \quad (3.62)$$

dimana:

K_{re} = koefisien relaksasi baja

J = koefisien relaksasi

SH = kehilangan pratekan akibat susut

CR = kehilangan pratekan akibat rangkak

ES = kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis

C = koefisien batang *stress relieved*

3.8.1.5 Kontrol Kuat Nominal

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada saat penampang mencapai kuat nominal (f_{ps}) yang menghasilkan nilai momen nominal. Momen nominal merupakan momen batas yang dimiliki oleh penampang beton yang berfungsi menahan momen ultimate dan momen retak yang terjadi. Momen nominal dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} \times f_{ps} \left(d_p - 0,59 \cdot \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{b \cdot f_c'} \right) \quad (3.63)$$

dengan syarat:

$$\phi M_n > M_u ; \phi M_n > 1,2 M_{cr} \quad (3.64)$$

dimana:

M_n = momen nominal

M_u = momen ultimate (1.2 MD+ 1.6ML)

A_{ps} = luasan tendon pratekan

fps	= tegangan pada tulangan pratekan disaat penampang mencapai kuat nominal
dp	= jarak penampang baja ke serat atas beton
B	= lebar penampang beton
f'c	= mutu beton
ϕ	= angka reduksi (0.9)

3.8.1.6 Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan

Kuat batas balok pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut:

$$1,2M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n \quad (3.65)$$

dimana:

M_{cr} = momen retak yang terjadi pada balok pratekan

3.8.1.7 Kontrol Momen Retak

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retakan-retakan kecil pertama pada balok pratekan yang dihitung dengan teori elastic, dengan menganggap bahwa retakan mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya (f_{cr}). Momen retak dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$M_{cr} = M_1 + M_2 \quad (3.66)$$

$$M_1 = F \times (e + K_t) \quad (3.67)$$

$$M_2 = f_r \times W_b \quad (3.68)$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f'c} \quad (3.69)$$

dimana:

F	= gaya pratekan pada saat servis
e	= eksentrisitas tendon terhadap garis netral penampang beton
Kt	= daerah kern diatas sumbu netral beton
Fr	= tegangan tarik pada saat terluar beton
Wr	= momen resisten bawah (I/yb)

3.8.1.8 Kontrol Lentur

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok pada tahap yang kritis, baik saat *jacking* atau tahap beban layan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah dimensi balok mampu memikul tegangan yang diberikan, dimana tegangan ijin yang diberikan berdasarkan:

$$\sigma_{ct,b} = -\frac{F}{A} \mp \frac{F \times e}{W_{t,b}} \pm \frac{M_{DL}}{W_{t,b}} \pm \frac{M_{LL}}{W_{t,b}} \leq \sigma_{ijinct,b} \quad (3.70)$$

dimana:

$\sigma_{ct,b}$ = tegangan lentur yang terjadi pada serat atas dan bawah

F = gaya pratekan efektif setelah kehilangan pratekan

A = luas penampang

$W_{t,b}$ = modulus elastis penampang

e = eksentrisitas dari garis netral beton pratekan (c.g.c) ke tendon baja (c.g.s)

M_{DL} = momen akibat berat sendiri

M_{LL} = momen akibat beban hidup

$\sigma_{ijin\ ct,b}$ = tegangan ijin sesuai ketentuan SNI

3.8.1.9 Kontrol Geser

Kontrol geser dan perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI Pasal 11.3.1, dimana dapat digunakan dua perumusan secara umum dan perumusan secara rinci. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima. Rumus perhitungan kontrol geser, sebagai berikut

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3.71)$$

dimana

$$V_c = \left(0,05\lambda\sqrt{f'c} + 4,8 \frac{V_u \times d_p}{M_u} \right) \times b_w \times d \quad (3.72)$$

Serta V_c harus memenuhi persyaratan berikut:

$$0,17\lambda\sqrt{f'c} \times b_w \times d \leq V_c \leq 0,42\lambda\sqrt{f'c} \times b_w \times d \quad (3.73)$$

Bila diperlukan perhitungan geser secara rinci, dapat digunakan ketentuan SNI 2847:2013 Pasal 11.3.3.1 dan Pasal 11.3.3.2 dengan nilai V_c harus yang terkecil dari V_{ci} dan V_{cw}

$$V_{ci} = \left(0,05\lambda\sqrt{f'c} \times b_w \times d_p + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cro}}{M_{max}} \right) \quad (3.74)$$

dimana $d_p \geq 0,8 h$

$$V_{ci} \geq 0,17\lambda\sqrt{f'c} \times b_w \times d \quad (3.75)$$

dengan,

$$M_{cro} = \frac{1}{y_t} (0,05\lambda\sqrt{f'c} + f_{pe} - f_d) \quad (3.76)$$

Dan nilai-nilai M_{max} dan V_i harus dihitung dari kombinasi beban yang menimbulkan momen maksimum pada penampang yang ditinjau.

V_{cw} harus dihitung dengan:

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'c} + 0,3f_{pc}) \times b_w \times d_p + V_p \quad (3.77)$$

dimana

- V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
- V_u = kuat geser ultimate dari kombinasi beban yang ada
- V_{ci} = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadi keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser
- V_{cw} = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadi keretakan diagonal akibat tarik utama yang berlebihan pada badan penampang
- V_d = gaya geser pada penampang akibat beban mati tak terfaktor
- V_i = gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max}
- V_p = komponen vertikal gaya pratekan efektif pada penampang
- I = momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor yang bekerja

- y_t = garis netral
 b_w = lebar badan penampang
 d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik
 M_{cro} = momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar
 M_{max} = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar
 F_d = tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar
 F_{pc} = tegangan tekan pada beton setelah kehilangan pada titik berat penampang yang menahan beban luar atau pertemuan antara badan dan flens jika titik berat terletak dalam flens
 f_{pe} = tegangan tekan pada beton akibat gaya pratekan efektif saja setelah memperhitungkan kehilangan pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik terjadi akibat beban luar

3.8.1.10 Kontrol Lendutan

Lendutan merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, sehingga kita perlu untuk menghitung lendutan struktur agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lendutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi. Berikut adalah kontrol lendutan yang harus dilakukan:

1. Lendutan akibat tekanan tendon

Perhitungan lendutan akibat tekanan tendon dapat dihitung sebagai berikut

$$\Delta l_{po} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_c \times I} \quad (3.78)$$

Dengan nilai P_o sebesar

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2} \quad (3.79)$$

dimana:

P_o = gaya pratekan (N)

f = fokus tendon (eksentrisitas dari c.g.s)

l = panjang efektif (mm)

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

I = inersia balok (mm^4)

2. Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok

Eksentrisitas terhadap c.g.c pada letak tendon menyebabkan lendutan ke arah bawah (karena menyebabkan momen negatif)

$$\Delta l_{me} = \frac{P_o \times e \times l^2}{8 \times E_c \times I} \quad (3.80)$$

3. Lendutan akibat beban sendiri

Berat sendiri menyebabkan balok terletak kebawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah

$$\Delta l_{po} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_c \times I} \quad (3.81)$$

dimana:

q_o = beban terbagi rata (N/m)

3.8.1.11 Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel adalah daerah batas dimana tendon dapat diletakkan. Tegangan tarik pada serat beton terjauh akibat beban layan tidak boleh melebihi nilai maksimum yang diijinkan persyaratan yang ada. Oleh karena itu diperlukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya pratekan dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton. dimana

$$a_{1-atas} = \frac{M_{\max}}{F} \quad (3.82)$$

$$a_{2-bawah} = \frac{M_{\min}}{F_o} \quad (3.83)$$

3.8.1.12 Pengangkuran

Balok pratekan pascatarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.3.1

3.8.2 Analisa Struktur Utama Non Pratekan

Setelah diperoleh Analisa gaya dengan menggunakan ETABS dilakukan kontrol desain serta penulangan struktur utama sesuai dengan aturan yang terdapat dalam SNI 2847:2013.

Kontrol desain dilakukan untuk Analisa struktur bangunan, sehingga memenuhi syarat keamanan dan sesuai dengan standar yang terdapat pada peraturan. Kontrol desain yang dilakukan berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kontrol lentur, momen nominal, beban layan (serviceability), dan beban ultimate. Apabila desain memenuhi, maka dilanjutkan ke output gambar. Jika tidak memenuhi, maka harus mendesain ulang dimensi struktur bangunan.

3.9 Sistem Hubungan Balok Kolom

Sistem yang digunakan untuk balok pratekan dengan kolom yaitu sistem monolit, struktur monolit merupakan salah satu dari tiga penentu komponen struktur puntir (SNI 2847:2013 Pasal 13.7.5.1). Struktur monolit diasumsikan mampu menahan geser vertikal, akan tetapi desain harus dengan bentuk penampang yang sama (SNI 2847:2013 Pasal 17.4.2).

3.9.1 Metode Pelaksanaan Beton Pratekan dengan Sistem Monolit

Pada Tugas Akhir ini balok pratekan direncanakan dipasang dengan metode monolit dan secara *post-tension*. Sehingga

pengecoran balok pratekan dilakukan langsung ditempat. Urutan pelaksanaan konstruksi balok pratekan adalah sebagai berikut:

1. Kolom merupakan struktur vertikal yang merupakan struktur utama dari sebuah gedung. Sebelum pekerjaan balok pratekan dan balok induk dilakukan, maka kolom dikerjakan terlebih dahulu. Kolom penumpu balok dicor terlebih dahulu, kemudian *scaffolding* diinstal beserta balok suri-suri sebagai penumpu bekisting balok pratekan.
2. Pekerjaan balok pratekan dilakukan dengan metode cor ditempat dimana bekisting, tulangan balok pratekan, dan pipa selongsong dipasang sesuai dengan urutan pemasangan.
3. Balok pratekan dicor sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu posisi dan lubang dari pipa selongsong. Setelah balok pratekan dicor, tendon dimasukkan kedalam pipa selongsong.
4. Tendon ditarik sebesar F sesuai dengan hasil perencanaan di kedua ujungnya. Pengangkuran dilakukan saat balok tersebut telah mengeras (*post-tension*) dengan tujuan untuk menahan tendon agar tidak slip (tergelincir) sebagai upaya agar beban atau tegangan tarikan tetap bertahan pada tendon.
5. Selanjutnya proses grouting dilakukan dengan menyuntikkan pasta semen setelah tendon ditarik atau sebelum beban hidup bekerja.
6. Pekerjaan kolom dan balok induk selanjutnya dilakukan setelah balok pratekan selesai dilakukan pengangkuran.
7. Pada hubungan antara kolom dan balok pratekan, panjang penyaluran tulangan diatur sedemikian rupa sesuai SNI 2847:2013 pasal 12.

3.10 Perencanaan Pondasi

Perhitungan beban struktur atas secara keseluruhan telah selesai dilakukan, maka beban tersebut akan diteruskan ke struktur bawah (pondasi). Pondasi yang dipakai pada tugas akhir ini adalah pondasi tiang pancang. Langkah-langkah perhitungan untuk perencanaan pondasi adalah sebagai berikut:

- Menghitung beban total dari struktur atas
- Mencari daya dukung tanah

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.84)$$

$$Q_P = q_P \times A_P \times \alpha = (N_P \times K) A_P \times \alpha \quad (3.85)$$

$$Q_P = q_S \times A_S \times \beta = \left(\frac{N_S}{3} \times 1 \right) A_S \times \beta \quad (3.86)$$

- Menentukan efisiensi dari pondasi grup tiang pancang serta jumlah tiang pondasi

$$Q_{L(group)} = Q_{L(1tiang)} \times n \times \eta \quad (3.87)$$

$$\eta = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{d}{s}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \quad (3.88)$$

dimana:

- m = jumlah baris tiang dalam grup
- n = jumlah kolom tiang dalam grup
- d = diameter sebuah tiang pondasi
- s = jarak as ke as tiang dalam grup

- Menghitung Beban Maksimum 1 Tiang Pancang

$$P_{\max} = \frac{V}{n} + \frac{M_y \times V_{\max}}{\sum X^2} + \frac{M_x \times V_{\max}}{\sum Y^2} \leq P_{ijin} \text{ (1 tiang)}$$

- Mengontrol Kekuatan Tiang
- Merencanakan *pile cap*

3.11 Penggambaran Hasil Perencanaan

Hasil analisa struktur sekunder, struktur utama non pratekan, struktur utama pratekan, dan pondasi nantinya dituangkan ke dalam gambar teknik, yang mampu menjelaskan secara nyata hasil perhitungan, dengan menggunakan software bantu sipil AutoCAD sesuai dengan standar yang berlaku.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design

4.1.1 Umum

Preliminary desain merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. Preliminary desain yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, balok pratekan, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan preliminary, sebaiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

4.1.2 Data Perencanaan

Perencanaan Gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung menggunakan beton bertulang pada keseluruhan struktur gedung. Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir adalah:

- Tipe Bangunan : Apartemen
- Lokasi : Jalan Kali Kramat, Wiyung,
Surabaya Barat
- Ketinggian Lantai :
 - Lantai Parkir : 9 m
 - Lobby : 3 m
 - Lantai 1-37 : 109,6 m
- Luas Bangunan : 1676,22 m²
- Tinggi Total Bangunan : 121,6 m
- Mutu Beton : 30 MPa, 40 MPa
- Mutu baja (fy) : 400 MPa
- Data tanah : Terlampir
- Data Gambar : Terlampir

4.1.3 Pembebanan

4.1.3.1 Beban Gravitasi (SNI 1729:1989)

- Beban mati
 - Berat sendiri beton bertulang : 24 kN/m³
 - Adukan finishing : 0,21 kN/m³
 - Tegel : 0,24 kN/m²
 - Dinding Bata Ringan : 250 kg/m²
 - Plafond : 18 kg/m²
 - Penggantung : 0,07 kN/m²
 - Pumbing + Ducting : 0,30 kN/m²
- Beban hidup
 - Lantai Atap : 0,96 kN/m²
 - Lantai Ballroom : 4,79 kN/m²
 - Lantai Hotel : 1,92 kN/m²
 - Lantai Basement : 1,92 kN/m²
 - Pelat Tangga : 4,79 kN/m²

4.1.3.2 Beban Gempa

Perencanaan perhitungan struktur terhadap beban gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726:2012

4.1.4 Perencanaan Balok

4.1.4.1 Perencanaan Balok Induk

Penentuan tinggi balok minimum (h_{\min}) dihitung berdasarkan SNI. Perencanaan balok anak mengikuti peraturan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.2

- Perencanaan tinggi balok anak

$$h = \frac{l}{21}$$

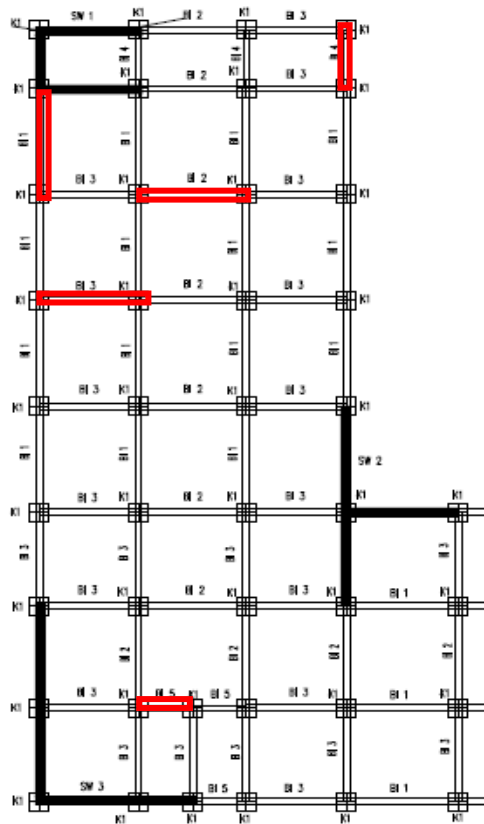
- Perencanaan Lebar balok anak

$$b = \frac{2}{3} h$$

Catatan:

- Panjang bentang dalam mm
- Untuk f_y selain 420 MPa, nilai

$$= h \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$



Gambar 4. 1 Variasi balok pada gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung

Dari **Gambar 4.1** dapat dilihat variasi balok yang ditinjau, sehingga diperoleh dimensi balok induk seperti **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Nama Balok	Bentang	h_{\min}	b_{\min}	Dimensi	
	(mm)	(mm)	(m)	h (mm)	b (mm)
B1	5000	303,6	202,4	500	300
B2	4800	291,4	194,3	500	300
B3	4425	268,7	179,1	500	300
B4	3000	182,1	121,4	350	250
B5	2400	145,7	97,1	350	250

4.1.4.2 Perencanaan Balok Anak

Perencanaan dimensi balok anak untuk mutu beton 30 MPa dan mutu baja 400 MPa direncanakan sebagai balok anak pada dua tumpuan menerus, sehingga digunakan perumusan sesuai SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2 Tabel 9.5(a)

Pada gedung Apartemen Puncak CBD ini, hanya menggunakan satu jenis balok anak, dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Nama Balok	Bentang (mm)	h_{\min}	b_{\min}	Dimensi	
		(mm)	(mm)	h (mm)	b (mm)
BA1	5000	231,3	154,2	300	250

4.1.4.3 Perencanaan Balok Pratekan

Dimensi balok pratekan pada preliminary design direncanakan sebagai berikut:

$$\text{Tinggi balok pratekan: } h_{\min} = \frac{l}{20}$$

$$\text{Lebar balok pratekan: } b = \frac{2h}{3}$$

Balok pratekan direncanakan memiliki $L = 13,65$ m sehingga diperoleh perencanaan:

$$h_{\min} = \frac{13,65}{20} = 0,6825 \approx 0,7 \text{ m}$$

$$b = \frac{2h}{3} = \frac{2 \times 0,7}{3} = 0,455 \approx 0,5 \text{ m}$$

Sehingga dipakai dimensi balok pratekan 50/70 cm.

4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

Perencanaan ini menggunakan perhitungan pelat dua arah, yaitu pelat yang rasio panjang dan lebarnya kurang dari 2, sehingga besar pembebanan yang diterima diteruskan pada keseluruhan pemikul di sekeliling panel pelat tersebut.

Permodelan struktur yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus, dimana pelat difokuskan hanya menerima beban gravitasi. Tumpuan pada sisi pelat diasumsikan sebagai perletakan jenis jepit penuh.

Perhitungan dimensi pelat berdasarkan syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3

- Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ menggunakan pasal 9.5.3.3
- Untuk $\alpha_m \geq 2$ ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h_1 = \frac{L_n \times (0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \text{ dan tidak boleh kurang dari 120 mm.}$$

- Untuk $\alpha_m \geq 2$ ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h_2 = \frac{L_n \times (0.8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari 90 mm.}$$

L_n = panjang bentang bersih

S_n = lebar bentang bersih

F_y = tegangan leleh baja

β = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat 2 arah

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi suatu panel

Harga α_m didapat dari:

$$\alpha = \frac{E_{balok} \times I_{balok}}{E_{pelat} \times I_{pelat}}$$

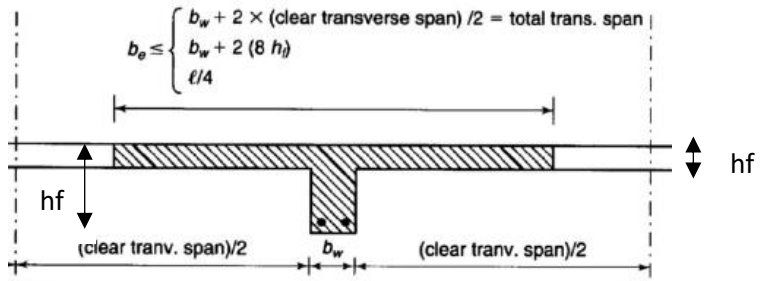
$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n}$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L_y \times hf^3$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

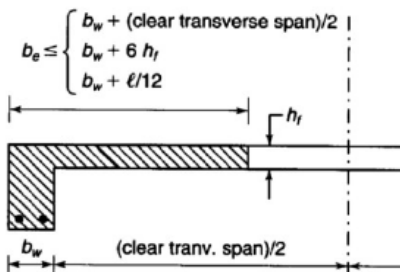
Balok interior:



Nilai $be_1 = \frac{1}{4} \times L$
 $be_2 = b_w + 2 \times (8h_f)$
 $be_3 = b_w + S_n$

Dari ketiga nilai be diambil yang terkecil.

Balok eksterior:



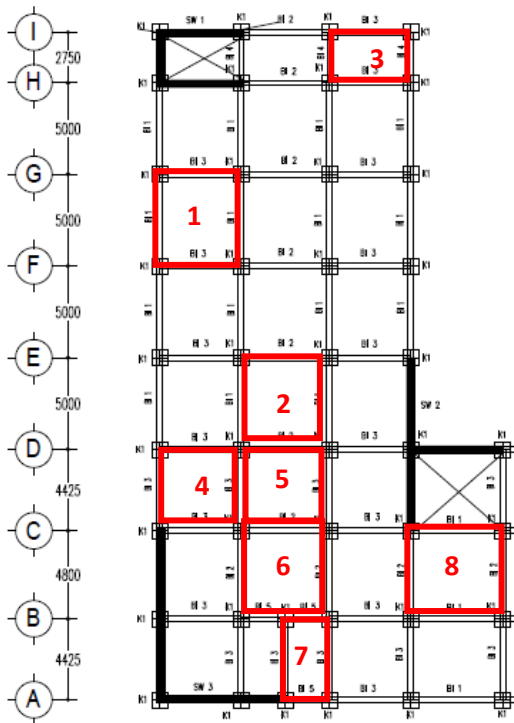
Nilai $be_1 = \frac{1}{12} \times L$
 $be_2 = b_w + 6h_f$
 $be_3 = b_w + S_n/2$

Dari ketiga nilai be diambil yang terkecil.

4.1.5.1 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai

Pelat yang direncanakan pada bangunan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

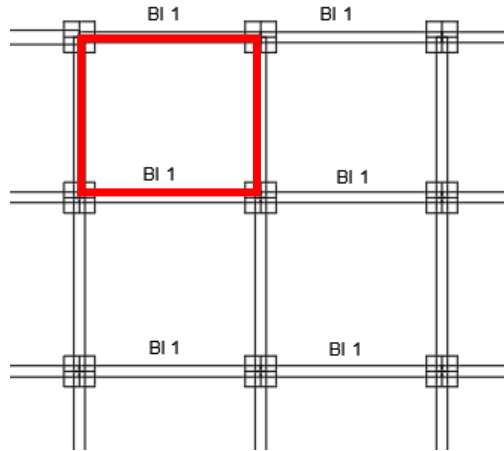
Mutu beton	: 30 MPa
Mutu baja	: 400 MPa
Rencana tebal pelat lantai apartemen	: 13 cm
Rencana tebal pelat atap	: 12 cm



Gambar 4. 2 Variasi Pelat pada Apartemen Puncak CBD Wiyung

4.1.5.2 Perhitungan Tebal Pelat

1. Contoh perhitungan pelat tipe 1



Gambar 4. 3 Denah Pelat Tipe 1 $500 \times 442,5$ cm

Direncanakan $h_f = 13$ cm

$$\begin{aligned} L_n &= 500 - (30 + 30)/2 \\ &= 470 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= 442,5 - (30 + 30)/2 \\ &= 412,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n / S_n \\ &= 1,139 < 2 \text{ (pelat 2 arah)} \end{aligned}$$

- Balok BI 1 30×50 cm

Perhitungan lebar efektif:

$$\begin{aligned} be_1 &= b_w + 1/12 \times L \\ &= 30 + 1/12 \times 470 = 71,67 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= b_w + 6h_f \\ &= 30 + 6 \times 13 = 108 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_3 &= b_w + S_n/2 \\ &= 30 + 412,5/2 = 236,25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka dipilih $be = 71,67 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{71,67}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{13}{50}\right) + 4 \left(\frac{13}{50}\right)^2 + \left(\frac{71,67}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{71,67}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right)}$$

$$k = 1,46$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L_y \times h_f^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 1,46 \times 30 \times 50^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 500 \times 13^3$$

$$I_{balok} = 456.330 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = 91.541,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{456.330}{91.541,67} = 4,98$$

- Balok BI 2 30 × 50 cm

Perhitungan lebar efektif:

$$\begin{aligned} be_1 &= \frac{1}{4} \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 442,5 = 110,63 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= bw + 2 \times (8hf) \\ &= 30 + 2 \times (8 \times 13) = 238 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_3 &= bw + 2 \times S_n/2 \\ &= 30 + 2 \times 470/2 = 500 \end{aligned}$$

Maka dipilih $be = 110,63 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{110,63}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{13}{50}\right) + 4 \left(\frac{13}{50}\right)^2 + \left(\frac{110,63}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{110,63}{30} - 1\right) \left(\frac{13}{50}\right)}$$

$$k = 1,72$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L_y \times h_f^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 1,72 \times 30 \times 50^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 442,5 \times 13^3$$

$$I_{balok} = 538.428,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = 81.014,38 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{538.428,6}{81.014,38} = 6,65$$

Maka α_m rata-rata adalah:

$$\alpha_m = \frac{2 \times (\alpha_1 + \alpha_2)}{4} = \frac{2 \times (4,98 + 6,65)}{4} = 5,82 > 2$$

Sehingga harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5

$$h_{min} = \frac{L_n \times (0,8 + f_y / 1400)}{36 + 9\beta} = \frac{470 \times (0,8 + 400 / 1400)}{36 + 9(1,139)} = 11,03$$

$h_{min} = 110,3 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$ (**OK**)

Maka h_{pakai} pada tahap preliminary design diambil sebesar 13 cm.

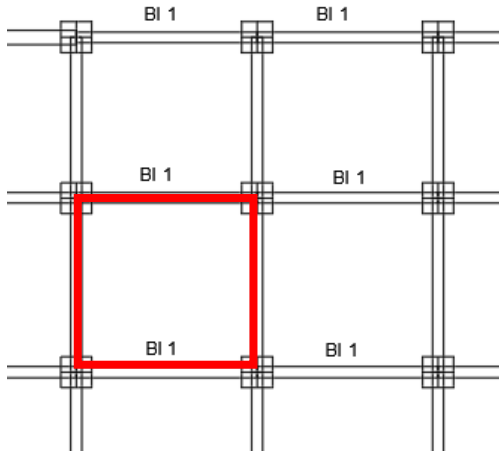
2. Contoh perhitungan tipe 2: 480 x 500 cm

Direncanakan $h_f = 13 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} L_n &= 500 - (30 + 30) / 2 \\ &= 470 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= 480 - (30 + 30) / 2 \\ &= 450 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n / S_n \\ &= 1,044 < 2 \text{ (pelat 2 arah)} \end{aligned}$$



Gambar 4. 4 Denah Pelat Tipe 2 500 × 480 cm

- Balok BI 2 30 × 50 cm

Perhitungan lebar efektif:

$$\begin{aligned}
 be_1 &= \frac{1}{4} \times L \\
 &= \frac{1}{4} \times 480 = 120 \text{ cm} \\
 be_2 &= bw + 2 \times (8hf) \\
 &= 30 + 2 \times (8 \times 13) = 238 \text{ cm} \\
 be_3 &= bw + 2 \times Ln/2 \\
 &= 30 + 2 \times 470/2 = 500
 \end{aligned}$$

Maka dipilih $be = 120 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{120}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{13}{50} \right) + 4 \left(\frac{13}{50} \right)^2 + \left(\frac{120}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{120}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right)}$$

$$k = 1,77$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L_y \times h_f^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 1,77 \times 30 \times 50^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 480 \times 13^3$$

$$I_{balok} = 553.939,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = 87.880 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{553.939,6}{87.880} = 6,3$$

- Balok BI 1 30 × 50 cm

Perhitungan lebar efektif:

$$\begin{aligned} be_1 &= \frac{1}{4} \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 500 = 125 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_2 &= bw + 2 \times (8hf) \\ &= 30 + 2 \times (8 \times 13) = 238 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be_3 &= bw + 2 \times \frac{S_n}{2} \\ &= 30 + 2 \times 450/2 = 480 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka dipilih $be = 125 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{125}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{13}{50} \right) + 4 \left(\frac{13}{50} \right)^2 + \left(\frac{125}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{125}{30} - 1 \right) \left(\frac{13}{50} \right)}$$

$$k = 1,797$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times k \times b \times h^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L_y \times h_f^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 1,797 \times 30 \times 50^3$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 500 \times 13^3$$

$$I_{balok} = 553.939,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = 91.541,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{553.939,6}{91.541,67} = 6,14$$

Maka α_m rata-rata adalah:

$$\alpha_m = \frac{2 \times (\alpha_1 + \alpha_2)}{4} = \frac{2 \times (6,3 + 6,14)}{4} = 6,22 > 2$$

Sehingga harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5

$$h_{\min} = \frac{L_n \times (0,8 + f_y / 1400)}{36 + 9\beta} = \frac{470 \times (0,8 + 400 / 1400)}{36 + 9(1,04)} = 11,24$$

$$h_{\min} = 112,4 \text{ mm} > 90 \text{ mm (OK)}$$

Maka h_{pakai} pada tahap *preliminary design* diambil sebesar 13 cm.

Dari cara perhitungan seperti diatas, didapatkan tebal pelat sebagai berikut

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Tebal Pelat Lantai Apartemen

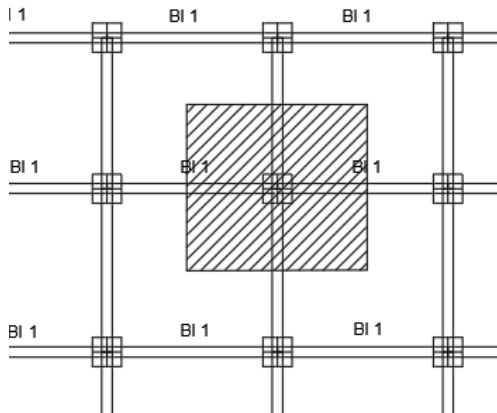
Tipe Pelat	Ukuran (cm)	Tipe Arah	Tebal minimum (cm)	Tebal pakai (cm)
1	$500 \times 442,5$	2	11,03	13
2	500×480	2	11,24	13
3	$442,5 \times 270$	2	8,76	13
4	$442,5 \times 442,5$	2	9,95	13
5	$442,5 \times 480$	2	10,66	13
6	480×480	2	10,86	13
7	$442,5 \times 240$	2	6,25	13

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Tebal Pelat Atap

Tipe Pelat	Ukuran (cm)	Tipe Arah	Tebal minimum (cm)	Tebal pakai (cm)
1	$500 \times 442,5$	2	11,03	12
2	500×480	2	11,24	12
3	$442,5 \times 270$	2	8,76	12
4	$442,5 \times 442,5$	2	9,95	12
5	$442,5 \times 480$	2	10,66	12
6	480×480	2	10,86	12
7	$442,5 \times 240$	2	6,25	12
8	$442,5 \times 500$	2	11,27	12

4.1.6 Perencanaan Kolom

Kolom yang direncanakan harus mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

**Gambar 4. 5** Kolom yang ditinjau pada desain awal

Pada **Gambar 4.5** terlihat kolom yang akan direncanakan memikul beban pada luasan pelat $4,425 \times 5$ m dari seperempat masing-masing luasan pelat yang di atasnya.

Direncanakan

Tebal pelat lantai	= 13 cm
Tebal pelat atap	= 12 cm
Tinggi Lobby, P1-P3	= 300 cm
Tinggi Lt. 1-36	= 295 cm
Tinggi Lantai Atap	= 340 cm

Pembebanan pada kolom berdasarkan SNI 1727:2013 untuk beban mati dan beban hidup, yang diberikan pada tiap lantainya sebagai perencanaan pembebanan kolom. Untuk efisiensi dan keefektifan dimensi struktur dibuat beberapa variasi kolom. Diambil satu dimensi kolom yang berbeda tiap 6-10 tingkat.

Untuk beban hidup kolom diijinkan untuk beban hidup tereduksi berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 4.8 dengan syarat komponen struktur yang memiliki $K_{LL} \cdot A_{TT} \geq 37,16 \text{ m}^2$ dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{TT} &= 4,425 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 22,125 \text{ m}^2 \\
 K_{LL} &= 4 \text{ (SNI 1727:2013 Tabel 4-2)} \\
 K_{LL} \cdot A_{TT} &= 88,5 \text{ m}^2 \geq 37,16 \text{ m}^2 \\
 L_o &= 0,96 \text{ kN/m}_2 \text{ (SNI 1727:2013)}
 \end{aligned}$$

▪ Reduksi beban hidup pelat atap

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 1,2 - 0,011 \times A_{TT} \\
 &\quad (R_1 \text{ untuk } 18,58 \text{ m}^2 \leq A_{TT} \leq 55,74 \text{ m}^2) \\
 &= 1,2 - 0,11 \times 22,125 = 0,956 \\
 R_2 &= 1 \text{ (untuk } F < 4) \\
 L_R &= L_o \times R_1 \times R_2 \\
 &= 0,96 \times 0,956 \times 1 \\
 &= 0,92 \\
 \text{Syarat} &= 0,58 \leq L_r \leq 0,96 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 6 Beban Total yang diterima Kolom Lantai 37-28

LANTAI 37-28							
Beban mati	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Pelat lantai	2400	5	4,425	0,13	10	69.030	kg
Penggantung	7	5	4,425	-	10	1.549	kg
Plafond	11	5	4,425	-	10	2.434	kg
BI 1	2400	5	0,3	0,5	10	18.000	kg
BI 2	2400	4,425	0,3	0,5	10	15.930	kg
BI 1	2400	4,425	0,3	0,5	10	15.930	kg
Dinding bata	250	9,425	-	0,15	10	3.534	kg
Tegel	24	5	4,425	-	10	5.310	kg
Spesi (2 cm)	42	5	4,425	-	10	9.293	kg
Ducting dan Plumbing	30	5	4,425	-	10	6.638	kg
WD						147.67	kg
Beban Hidup	Berat Sendiri	L	b	t	lantai	Berat	Satuan
Lantai	141,27	5	4,425	-	10	31.256	kg
Lantai Ballroom	479,00	5	4,425	-	1	10.598	kg
WL						41.854	kg
WD TOTAL						161.837	kg
WL TOTAL						44.323	kg

Jadi berat total yang diterima satu kolom:

$$W = (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) / \text{jumlah kolom} \\ = 265.121,36 \text{ kg}$$

$$f_c' = 40 \text{ MPa} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P}{\phi \cdot f_c'} = \frac{265.121,36}{0,65 \times 400} = 1019,7 \text{ cm}^2$$

Direncanakan

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{1019,7} = 32 \text{ cm}$$

$$h = \frac{A}{32} = 31,9 \text{ cm}$$

Pada tahap *preliminary design*, penulis menggunakan dimensi kolom 60/60 cm.

Tabel 4. 7 Beban yang diterima Kolom Lantai 27-18

LANTAI 27-18							
Beban mati	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Pelat lantai	2400	5	4,425	0,13	10	15600	kg
Penggantung	7	5	4,425	-	10	1548,75	kg
Plafond	11	5	4,425	-	10	2433,75	kg
BI 1	2400	5	0,3	0,5	10	18000	kg
BI 2	2400	4,425	0,3	0,5	10	15930	kg
BI 2	2400	4,425	0,3	0,5	10	15930	kg
Dinding bata	250	9,425	-	0,15	10	3534,375	kg
Tegel	24	5	4,425	-	10	5310	kg
Spesi (2 cm)	42	5	4,425	-	10	9292,5	kg
Ducting dan Plumbing	30	5	4,425	-	10	6637,5	kg
WD						94216,88	kg
Beban Hidup	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Lantai	141,27	5	4,425	-	10	31256,17	
WL						31256,17	kg
WD TOTAL						256053,8	kg
WL TOTAL						75579,36	kg

Jadi berat total yang diterima satu kolom:

$$W = (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) + \text{berat kolom diatasnya} \\ = 428.191 \text{ kg}$$

$$f_c' = 40 \text{ MPa} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P}{\phi \cdot f_c'} = \frac{428.191}{0,65 \times 400} = 1646,89 \text{ cm}^2$$

Direncanakan:

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{1646,89} = 41 \text{ cm}$$

$$h = \frac{A}{41} = 40,2 \text{ cm}$$

Pada tahap *preliminary design*, penulis menggunakan dimensi kolom 65/65cm.

Tabel 4. 8 Beban yang diterima Kolom Lantai 17-8

LANTAI 17-8							
Beban mati	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Pelat lantai	2400	5	4,43	0,13	10	69030	kg
Penggantung	7	5	4,43	-	10	1548,75	kg
Plafond	11	5	4,43	-	10	2433,75	kg
BI 1	2400	5	0,3	0,5	10	18000	kg
BI 2	2400	4,43	0,3	0,5	10	15930	kg
BI 2	2400	4,43	0,3	0,5	10	15930	kg
Dinding bata	250	9,43	-	0,15	10	3534,38	kg
Tegel	24	5	4,43	-	10	5310	kg
Spesi (2 cm)	42	5	4,43	-	10	9292,5	kg
Ducting dan Plumbing	30	5	4,43	-	10	6637,5	kg
WD						147647	kg
Beban Hidup	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Lantai	141,27	5	4,43	-	10	31256,2	
WL						31256,2	kg
WD TOTAL						565538	kg
WL TOTAL						151159	kg

Jadi berat total yang diterima satu kolom:

$$W = (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) + \text{berat kolom di atasnya} \\ = 920.499 \text{ kg}$$

$$f_c' = 40 \text{ MPa} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P}{\phi \cdot f_c'} = \frac{920.499}{0,65 \times 400} = 3540,4 \text{ cm}^2$$

Direncanakan:

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{3540,4} = 60 \text{ cm}$$

$$h = \frac{A}{60} = 59 \text{ cm}$$

Pada tahap *preliminary design*, penulis menggunakan dimensi kolom 75/75 cm.

Tabel 4. 9 Beban yang diterima Kolom Lantai 7-Lobby

LANTAI 7-Lobby							
Beban mati	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Pelat lantai	2400	5	4,43	0,13	11	75933	kg
Penggantung	7	5	4,43	-	11	1703,625	kg
Plafond	11	5	4,43	-	11	2677,125	kg
BI 1	2400	5	0,3	0,5	11	19800	kg
BI 2	2400	4,43	0,3	0,5	11	17523	kg
BI 2	2400	4,43	0,3	0,5	11	17523	kg
Dinding bata	250	9,43	-	0,15	11	3887,8125	kg
Tegel	24	5	4,43	-	11	5841	kg
Spesi (2 cm)	42	5	4,43	-	11	10221,75	kg
Ducting dan Plumbing	30	5	4,43	-	11	7301,25	kg
WD						162411,56	kg
Beban Hidup	Berat Sendiri	L	b	t	Jumlah Lantai	Berat	Satuan
Lantai	141,27	5	4,43	-	11	34381,786	
WL						34381,786	kg
WD TOTAL						1145839,7	kg
WL TOTAL						305443,07	kg

Jadi berat total yang diterima satu kolom:

$$W = (1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}) + \text{berat kolom diatasnya} \\ = 1.863.716,53$$

$$f_c' = 40 \text{ MPa} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \frac{P}{\phi \cdot f_c'} = \frac{1.863.716,53}{0,65 \times 400} = 7168,14 \text{ cm}^2$$

Direncanakan:

$$b = \sqrt{A} = \sqrt{7168,14} = 85 \text{ cm}$$

$$h = \frac{A}{85} = 84,3 \text{ cm}$$

Pada tahap *preliminary design*, penulis menggunakan dimensi kolom 85/85 cm.

Dengan perhitungan tersebut, berikut rekapitulasi dimensi kolom yang digunakan:

- Kolom 28- Lt. Atap : 60/60 cm
- Kolom Lt. 18 – 27 : 65/65 cm
- Kolom Lt. 8 – 17 : 75/75 cm
- Kolom Lobby – Lt.7 : 85/85 cm

4.1.7 Perencanaan Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1, ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang batang tertumpu, yang lebih pendek atau kurang dari 100 mm. Direncanakan:

- Tebal dinding geser : 40 cm
- Panjang bentang : 442,5 cm
- Tinggi : 370 cm
- $30 \text{ cm} \geq H/25 = 370/25 = 14,8 \text{ cm}$ (OK)
- $30 \text{ cm} \geq L/25 = 442,5/25 = 17,7 \text{ cm}$ (OK)

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Umum

Struktur gedung dibagi menjadi dua yaitu struktur utama (primer) dan struktur sekunder. Struktur sekunder tidak menahan beban secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan akibat pembebanan yang bekerja secara langsung pada bagian tersebut, maupun perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian dari struktur sekunder antara lain meliputi tangga, pelat lantai, balok penumpu lift, dan balok anak. Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perancangan struktur sekunder.

4.2.2 Perencanaan Tangga

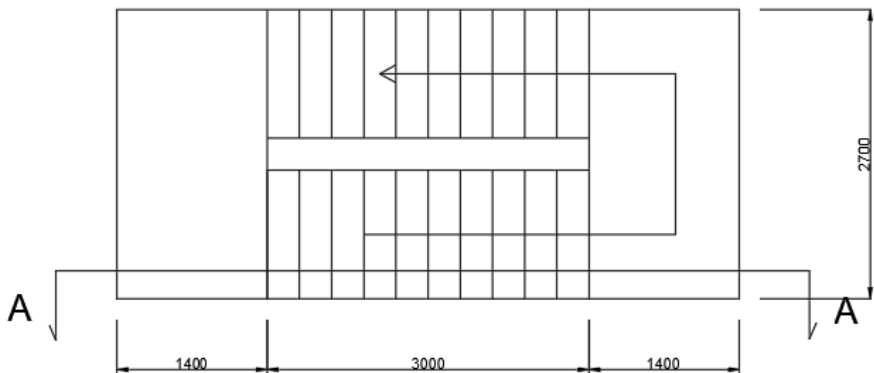
4.2.2.1 Data-data Perencanaan Tangga

- Tinggi lantai : 295 cm
- Lebar Tangga : 120 cm

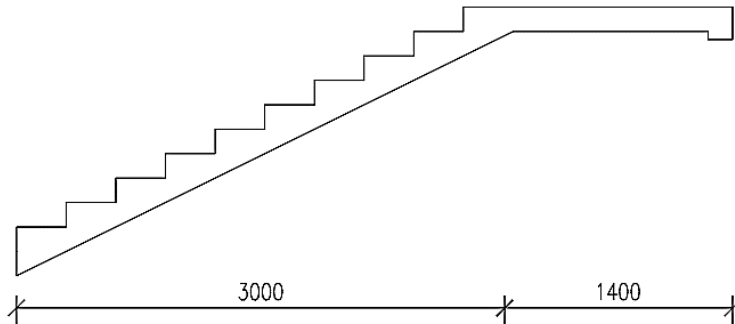
- Panjang Tangga : 300 cm
- Elevasi Bordes : 147,5 cm
- Lebar Bordes : 140 cm
- Panjang Bordes : 270 cm
- Tebal Bordes : 15 cm
- Jumlah Tanjakan : 20 buah
- Jumlah injakan : 19 buah
- Lebar Injakan (i) : 30 buah
- Tinggi injakan (t) : 15 cm
- Tebal pelat tangga (tp) : 15 cm
- Selimut beton : 2 cm
- Mutu beton (fc') : 30 MPa
- Mutu baja (fy) : 400 MPa

$$\text{Kemiringan tangga} : \tan^{-1} \left(\frac{elv.bordes}{l_{tan\ gga}} \right)$$

$$: \tan^{-1} \left(\frac{147,5cm}{300cm} \right) = 26,182$$



Gambar 4. 6 Denah Tangga



Gambar 4. 7 Potongan A-A Tangga

Cek syarat:

1. $60 \leq (2t+i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 15 + 30) \leq 65$
 $60 \leq 60 \leq 65$ (**OK**)
2. $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
 $\alpha = 26,18$ (**OK**)

Tebal pelat anak tangga rata-rata

$$\begin{aligned} Tr &= (i/2) \sin \alpha \\ &= 15 \times 0,441 = 6,618 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal pelat rata-rata} = tp + tr = 15 + 6,618 = 21,618 \sim 22 \text{ cm}$$

4.2.2.2 Pembebanan Tangga dan Bordes

a. Pembebanan Tangga

▪ Beban Mati

Pelat tangga	: $\frac{0,22 \times 2400 \times 1,2}{\cos(26,18)}$	= 706,04 kg/m
Tegel	: $2 \times 24 \times 1,2$	= 57,6 kg/m
Spesi 1 cm	: $1 \times 21 \times 1,2$	= 25,2 kg/m
Sandaran/railing	: 113,4 kg/m	
qD	: 902,24 kg/m	

▪ **Beban Hidup**

$$q_L : 479 \times 1,2 = 574,8 \text{ kg/m}$$

▪ **Kombinasi Beban**

$$\begin{aligned} q &: 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &: 1,2 (902,24) + 1,6 (574,8) \\ &: 2002,369 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Pembebanan Pelat Bordes

▪ **Beban Mati**

$$\begin{aligned} \text{Pelat bordes} &: 0,15 \times 2400 \times 1,2 = 432 \text{ kg/m} \\ \text{Tegel (2cm)} &: 2 \times 48 \times 1,2 = 57,6 \text{ kg/m} \\ \text{Spesi (1 cm)} &: 1 \times 21 \times 1,2 = 25,2 \text{ kg/m} \\ \text{Pegangan} &: 113,3 \text{ kg/m} \\ q_D &: 628,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

▪ **Beban Hidup**

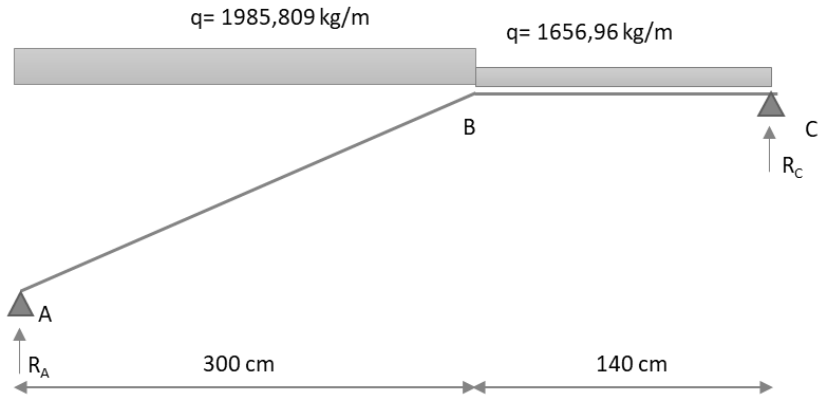
$$q_L : 479 \times 1,2 = 574,8 \text{ kg/m}$$

▪ **Kombinasi Beban**

$$\begin{aligned} q &: 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &: 1,2 (628,2) + 1,6 (574,8) \\ &: 1673,52 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4.2.2.3 Perhitungan Gaya pada Tangga

Pada proses Analisa struktur tangga, perhitungan dengan menggunakan teknik statis dengan permisalan perletakan sendi-rol, dengan pembebanan tangga dan output seperti pada gambar **Gambar 4.8**.



Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Tangga

a. Perhitungan Reaksi pada Tangga

$$\Sigma M_a = 0$$

$$R_c \times 4,4 - q_{\text{bordes}} \times 1,4 \times (1,4 \times 0,5 + 3) - q_{\text{tangga}} \times 3 \times 3 \times 0,5 = 0$$

$$R_c = 4018,067 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_c = 0$$

$$R_a \times 4,4 - q_{\text{tangga}} \times 3 \times (3 \times 0,5 + 1,4) - q_{\text{bordes}} \times 1,4 \times 1,4 \times 0,5 = 0$$

$$R_a = 4331,968 \text{ kg}$$

b. Perhitungan Gaya Dalam pada Tangga

- Gaya Normal

Pada Bordes ($0 < x < 1,4$)

$$N = 0 \text{ kg}$$

Pada Tangga ($0 < x < 3$)

$$X = 0 \text{ m}$$

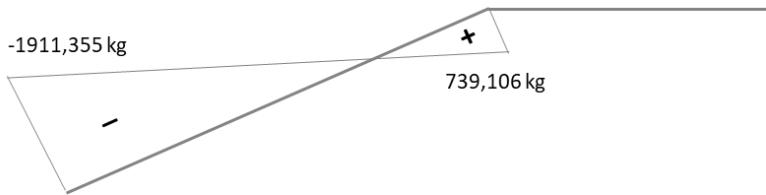
$$N_1 = -R_a \times \sin \alpha$$

$$= -1911,355 \text{ kg}$$

$$X = 3 \text{ m}$$

$$N_2 = N_1 + q_{\text{tangga}} \times X \times \sin \alpha$$

$$N_2 = 739,106 \text{ kg}$$



Gambar 4. 9 Gaya Dalam Bidang N pada Tangga

- Gaya Lintang

Pada Bordes ($0 < X < 1,4$)

$$X = 0 \text{ m}$$

$$D1 = -Rc + q_{\text{bordes}} \times X$$

$$D1 = -4018,067 \text{ kg}$$

$$X = 1,4 \text{ m}$$

$$D2 = -Rc + q_{\text{bordes}} \times X$$

$$D2 = -1675,139 \text{ kg}$$

Pada Tangga ($0 < X < 3$)

$$X = 0 \text{ m}$$

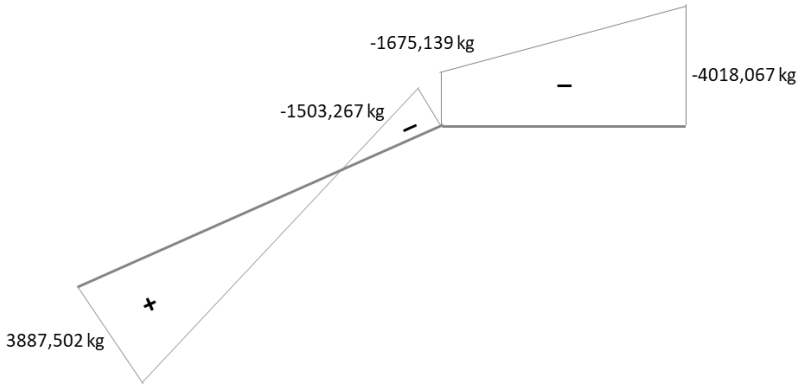
$$D1 = Ra \times \cos \alpha - q_{\text{tangga}} \times X \times \cos \alpha$$

$$D1 = 3887,502 \text{ kg}$$

$$X = 3 \text{ m}$$

$$D2 = Ra \times \cos \alpha - q_{\text{tangga}} \times X \times \cos \alpha$$

$$D2 = -1503,267 \text{ kg}$$



Gambar 4. 10 Gaya Dalam Bidang D pada Tangga

- Gaya Momen

Pada Bordes ($0 < X < 1,4$)

$$X = 0 \text{ m}$$

$$M_1 = R_c \times X - (1/2 \times q_{\text{bordes}} \times X^2)$$

$$M_1 = 0 \text{ kg.m}$$

$$X = 1,4 \text{ m}$$

$$M_2 = R_c \times X - (1/2 \times q_{\text{bordes}} \times X^2)$$

$$M_2 = 3985,244 \text{ kg.m}$$

Pada Tangga ($0 < X < 3$)

$$X = 0 \text{ m}$$

$$M_1 = R_a \times X - (1/2 \times q_{\text{tangga}} \times X^2)$$

$$M_1 = 0 \text{ kg.m}$$

$$X = 3 \text{ m}$$

$$M_2 = R_a \times X - (1/2 \times q_{\text{tangga}} \times X^2)$$

$$M_2 = 3985,244 \text{ kg.m}$$

Pada tangga, momen maksimum terjadi pada saat $D=0$

$$M_{\text{max}} = R_a \times X - (1/2 \times q_{\text{tangga}} \times X^2)$$

$$D_x = 0$$

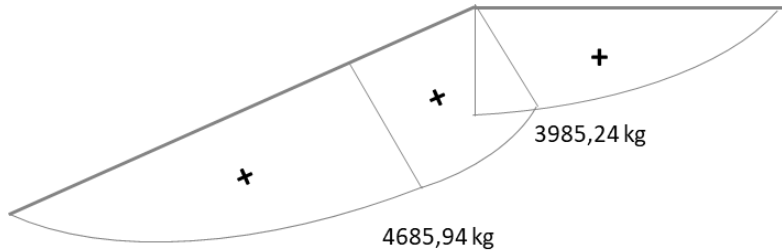
$$X = R_a \times \cos \alpha / (q_{\text{tangga}} \times \cos \alpha)$$

$$X = 2,163 \text{ m}$$

Pada saat $X = 2,163 \text{ m}$

$$M_{\max} = R_a \times X - (1/2 \times q_{\text{tangga}} \times X^2)$$

$$M_{\max} = 4685,937 \text{ kg.m}$$



Gambar 4. 11 Gaya Dalam Bidang M pada Tangga

4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Tangga

a. Anak Tangga:

▪ Data Perencanaan Penulangan Tangga

f_c'	: 30 MPa
f_y	: 400 MPa
Tulangan (D)	: 13
d_x	: $T_{\text{tangga}} - \text{cover} - (D/2)$
	: $150 - 20 - (13/2)$
	: 123,5 mm
ρ_{\min}	: 0,002 (SNI 2847-2013 Ps. 7.12.2.1)
β_1	: $0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right)$
β_1	: 0,835
ρ_b	: $0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times \frac{\left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$
ρ_b	: 0,0319
ρ_{\max}	: $0,75 \times \rho_b$
	: 0,0239

$$m : \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686$$

- Penulangan Lentur

$$\begin{aligned} Mu &= 4685,936 \text{ kg.m} \\ &= 46859366 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b.d^2} = 3,413$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right) = 0,00919$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

Maka pakai ρ_{perlu}

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= \rho \times B \times d \\ &= 1135,9096 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s (\text{D13}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 132,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= A_s \text{ perlu} / A_s (\text{D13}) \\ &= 8,56 \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1000 / n \\ &= 111,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D13-110 mm.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= n_{\text{pakai}} \times A_s (\text{D13}) \\ &= 12 \times 132,73 \\ &= 1194,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ tul bagi} &= 20\% \times A_s \text{ pakai} \\ &= 238,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s (\text{D10}) = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 78,539 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= A_s \text{ tul bagi} / A_s (\text{D10}) \\ &= 3,042 \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1000/n \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan bagi D10-250 mm.

- Penulangan Geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 120 \times 123,5 \\ &= 137993,22 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \times \phi \times V_c &= 0,5 \times 0,6 \times 158117,23 \\ &= 41397,966 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 38875,018$$

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$38875,018 \text{ N} \leq 41397,966 \text{ N}$$

Sehingga tidak memerlukan perkuatan geser

- Penulangan Susut

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 7.21.2.1)}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b_w \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 247 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s (\text{D10}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 78,539 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_s \text{ perlu} / A_s (\text{D10}) \\
 &= 247 / 78,53 \\
 &= 3,144 \\
 &= 4 \text{ buah} \\
 S &= 1000/n \\
 &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan susut D10-250 mm.

b. Bordes

▪ Data Perencanaan Penulangan Bordes

$$\begin{aligned}
 f_c' &: 30 \text{ MPa} \\
 f_y &: 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tulangan (D)} &: \text{D13} \\
 dx &: T_{\text{tangga}} - \text{cover} - (D/2) \\
 &: 150 - 20 - (13/2) \\
 &: 123,5 \text{ mm} \\
 p_{\min} &: 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 7.12.2.1)} \\
 \beta_1 &: 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \\
 \beta_1 &: 0,835 \\
 \rho_b &: 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times \frac{\left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 \rho_b &: 0,0319 \\
 \rho_{\max} &: 0,75 \times \rho_b \\
 &: 0,0239 \\
 m &: \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686
 \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &= 3985,244 \text{ kg.m} \\
 &= 39852440 \text{ N.mm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b.d^2} = 2,903
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = 0,00772$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

Maka pakai ρ_{perlu}

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= \rho \times B \times d \\ &= 954,187 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s (\text{D13}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 132,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= A_s \text{ perlu} / A_s (\text{D13}) \\ &= 7,19 \\ &= 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1000 / n \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur D13-125 mm.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= n_{\text{pakai}} \times A_s (\text{D13}) \\ &= 8 \times 132,73 \\ &= 1061,858 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ tul bagi} &= 20\% \times A_s \text{ pakai} \\ &= 212,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s (\text{D10}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 78,539 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= A_s \text{ tul bagi} / A_s (\text{D10}) \\ &= 2,704 \\ &= 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1000 / n \\ &= 333,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan bagi D10-330 mm.

- **Penulangan Geser**

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 275 \times 123,5 \\ &= 310484,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \times \phi \times V_c &= 0,5 \times 0,6 \times 310484,75 \\ &= 93145,424 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 40180,669$$

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$40180,669 \text{ N} \leq 93145,424 \text{ N}$$

Sehingga tidak memerlukan perkuatan geser

- **Penulangan Susut**

$$p_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 7.21.2.1)}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b_w \times d \\ &= 0,002 \times 2700 \times 123,5 \\ &= 666,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ (D10)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 78,539 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ (D10)} \\ &= 666,9 / 78,53 \\ &= 8,49 \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1000/n \\ &= 111,11 \text{ mm} \\ &= 115 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan susut D10-115 mm.

4.2.2.5 Perhitungan Balok Bordes

a. Perencanaan Dimensi Balok Bordes

$$\begin{aligned}
 h &= 1/16 \times L \\
 &= 1/16 \times 275 \\
 &= 16,875 = 20 \text{ cm} \\
 b &= 2/3 \times h \\
 &= 2/3 \times 20 \\
 &= 11,25 = 15 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai dimensi balok bordes 15/20

b. Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat bordes} &= 2400 \times 1,4 \times 0,15 \\
 &= 504 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat balok} &= 2400 \times 0,15 \times 0,2 \\
 &= 72 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$q_{DT} = 576 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (LL)

$$\begin{aligned}
 q_{LT} &= 447 \times 1,5 \\
 &= 625,8 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 \times 576 + 1,6 \times 625,8 \\
 &= 1692,48
 \end{aligned}$$

c. Data Perencanaan Penulangan Balok Bordes

$$\begin{aligned}
 f_c' &: 30 \text{ MPa} \\
 f_y &: 400 \text{ MPa} \\
 \text{Tulangan (D)} &: D 13 \\
 dx &: T_{\text{balok}} - \text{cover} - D/2 \\
 &: 200 - 20 - 13/2 \\
 &: 173,5 \text{ mm} \\
 p_{\min} &: 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 7.12.2.1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 & : 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \\
 & : 0,835 \\
 \rho_b & : 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times \frac{\left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 & : 0,0319 \\
 \rho_{\max} & : 0,75 \times \rho_b \\
 & : 0,0239 \\
 m & : \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = 15,686
 \end{aligned}$$

- Penulangan Lentur

Tulangan negatif tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u & = 1/16 \times q \times L^2 \\
 & = 1/16 \times 1692,48 \times (2,7)^2 \\
 & = 771,136 \text{ kg.m} \\
 R_n & = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = 1,897 \\
 \rho_{\text{perlu}} & = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,0049
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

Maka pakai ρ_{perlu}

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} & = \rho \times B \times d \\
 & = 128,43 \text{ mm}^2 \\
 A_s (\text{D13}) & = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 & = 132,73 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ tulangan} & = A_{s\text{perlu}} / A_s (\text{D13}) \\
 & = 0,967 \\
 & = 1
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur 1D13.

Tulangan Positif Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_u & = 1/11 \times q \times L^2 \\
 & = 1/11 \times 1692,48 \times (2,7)^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1121,653 \text{ kg.m} \\
 R_n &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = 2,76 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = 0,00732
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

Maka pakai ρ_{perlu}

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times B \times d \\
 &= 190,518 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s (\text{D13}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= 132,73
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tul} &= A_{s \text{ perlu}} / A_s (\text{D13}) \\
 &= 1,43 \\
 &= 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan lentur di lapangan 2D13.

- Penulangan Geser

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 275 \times 173,5 \\
 &= 24232,615 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,5 \times \phi \times V_c &= 0,5 \times 0,6 \times 24232,615 \\
 &= 7269,785 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 2284,848$$

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$2284,848 \text{ N} \leq 7269,785 \text{ N}$$

Sehingga digunakan tulangan geser praktis

Lapangan : D10 – 100 mm

Tumpuan : D10 – 150 mm

Berikut merupakan rekapitulasi penulangan tangga:

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 1

Tangga Tipe 1 (h = 2950 mm)				
Nama struktur	Tulangan			
	Lentur		Bagi	Susut
Pelat Tangga tipe 1	D13-110		D10-250	D10-250
Pelat Bordes	D13-125		D10-330	D10-115
Nama struktur	Lentur		Geser	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Balok Bordes	2D13	1D13	D10-150	D10-100

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 2

Tangga tipe 2 (h = 3000 mm)				
Nama struktur	Tulangan			
	Lentur		Bagi	Susut
Pelat Tangga tipe 2	D13-115		D10-300	D10-250
Pelat Bordes	D13-125		D10-330	D10-115
Nama struktur	Lentur		Geser	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Balok Bordes	2D13	1D13	D10-150	D10-100

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Penulangan Tangga Tipe 3

Tangga tipe 3 (h = 3400 mm)				
Nama struktur	Tulangan			
	Lentur		Bagi	Susut
Pelat Tangga tipe 3	D13-115		D10-250	D10-250
Pelat Bordes	D13-125		D10-330	D10-115
Nama struktur	Lentur		Geser	
	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Balok Bordes	2D13	1D13	D10-150	D10-100

4.2.3 Perencanaan Pelat

Pelat direncanakan dibagi menjadi pelat atap dan pelat lantai apartemen. Seperti pada preliminary desain, tipe pelat direncanakan dengan ketebalan 13 cm untuk pelat atap maupun pelat lantai apartemen.

4.2.3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan pelat meliputi mutu bahan dan tulangan yang akan direncanakan, dimensi dan pembebanan yang terjadi di area pelat, baik untuk pelat atap ataupun pelat lantai apartemen. Mutu bahan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah sebagai berikut:

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 400 MPa
- Tebal pelat atap : 13 cm
- Tebal pelat lantai : 13 cm
- Diameter tulangan rencana : 10 cm

4.2.3.2 Pembebanan Pelat

Pembebanan pada pelat dibagi menjadi dua, yaitu pembebanan pelat atap dan pelat lantai, karena beban yang bekerja pada masing-masing pelat berbeda.

1. Pelat Atap

Beban yang bekerja pada pelat atap terdiri dari dua jenis, yaitu beban mati (qD) dan beban hidup (qL).

- **Beban Mati**

Pelat atap	$= 0,13 \times 2400$	kg/m ²
	$= 312$	kg/m ²
Penggantung	$= 7$	kg/m ²
Plafond	$= 11$	kg/m ²
Spesi (t=2cm)	$= 2 \times 21$	kg/m ²
	$= 42$	kg/m ²
Aspal (t=1cm)	$= 14$	kg/m ²

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Plumbing dan ducting} & = 30 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{qDT} & = 416 & \text{kg/m}^2
 \end{array}$$

- **Beban Hidup**

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Berat sendiri} & = 91 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Air hujan} & = 19 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{qLT} & = 110 & \text{kg/m}^2
 \end{array}$$

- **Kombinasi**

$$\begin{aligned}
 \text{qU} &= 1,2 \text{ qDT} + 1,6 \text{ qLT} \\
 &= (1,2 \times 416) + (1,6 \times 110) \\
 &= 675,2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Pelat Lantai

- **Beban Mati**

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Pelat atap} & = 0,13 \times 2400 & \text{kg/m}^2 \\
 & = 312 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Penggantung} & = 7 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Plafond} & = 11 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Spesi (t=2cm)} & = 2 \times 21 & \text{kg/m}^2 \\
 & = 42 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Tegel (t=1cm)} & = 24 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{Plumbing dan ducting} & = 30 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{qDT} & = 426 & \text{kg/m}^2
 \end{array}$$

- **Beban Hidup**

$$\begin{array}{rcl}
 \text{qLT (lantai apartemen)} & = 192 & \text{kg/m}^2 \\
 \text{qLT (lantai ballroom)} & = 479 & \text{kg/m}^2
 \end{array}$$

- **Kombinasi**

$$\begin{aligned}
 \text{qU (lantai apartemen)} &= 1,2 \text{ qDT} + 1,6 \text{ qLT} \\
 &= (1,2 \times 426) + (1,6 \times 192) \\
 &= 818,4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qU \text{ (lantai ballroom)} &= 1,2 qDT + 1,6 qLT \\
 &= (1,2 \times 426) + (1,6 \times 479) \\
 &= 1227,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.3.3 Penulangan Pelat

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur pelat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d , f_y , f_c' , dan M_u
2. Menentukan harga β_1

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c' - 28)}{7} \text{ (SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)}$$

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(menurut SNI 2847:2013 Lamp. B 8.4.2)

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.1)}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b \text{ (menurut SNI 2847:2013 Lamp B-10.3.3)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \text{ (menurut SNI 2847:2013 Pasala 10.5.1)}$$

$$\text{Dan } \geq \text{ dari } \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

5. Menentukan harga R_n

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}, \text{ diketahui harga } \phi = 0,75$$

6. Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

dimana: $\rho_{\min} < \rho_{pakai} < \rho_{\max}$

7. Menentukan luas hitungan (A_s) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{bd^2} \text{ dimana } A_s = \rho \times b \times d$$

8. Menentukan jumlah dan jarak tulangan

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{perlu}}}{1/4 \times \pi \times \phi^2}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{n}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 spasi tulangan minimum adalah:

$$S < 450 \text{ mm}$$

$$S < 3h$$

1. Penulangan Pelat Tipe 2; 442,5 cm × 500 cm (2 arah)

$$\text{Tebal pelat} = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ tulangan} = 79,53 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835$$

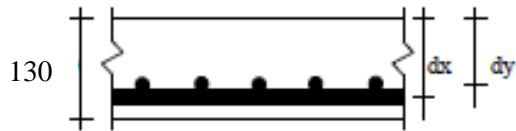
$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,0319$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\max} = 0,0239$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (menentukan)}$$



dx = tebal pelat (h) – selimut beton – ($1/2 \times$ diameter tulangan rencana bawah)

$$dx = 130 - 40 - (1/2 \times 10) \\ = 85 \text{ mm}$$

dy = tebal pelat (h) – selimut beton – ($1/2 \times$ diameter tulangan rencana atas)

$$dx = 130 - 40 - 10 - (1/2 \times 10) \\ = 75 \text{ mm}$$

$$Lx = 412,5 \text{ cm}$$

$$Ly = 470 \text{ cm}$$

$$\beta = 1,139$$

$$Qu = 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLT} \\ = 734,176 \text{ kg/m}^2$$

Dengan menggunakan koefisien minimum PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen sebagai berikut ($Ly/Lx=1,1$)

$$Mlx = 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mtx = -0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mly = 0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mty = -0,001 \times Qu \times Lx^2 \times X$$

Dimana

Mlx	=	momen lapangan arah x
Mly	=	momen lapangan arah y
Mtx	=	momen tumpuan arah x
Mty	=	momen tumpuan arah y
X	=	nilai konstanta dari perbandingan Ly/Lx

a. Perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan arah X

$$\beta = 1,14 \quad (\text{terjepit penuh})$$

$$\text{Mulx (+)} = X1 = 26$$

$$\text{Mulx (-)} = X2 = 65 \quad (\text{PBI Tabel 13.3.1 Tipe VI A})$$

$$\begin{aligned} \text{Mlx} &= (-) \text{Mtx} \\ &= 0,001 \times 734,176 \times (412,5)^2 \times 65 \\ &= 812,01 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{8120101}{0,75 \times 1000 \times 85^2} = 1,49$$

$$\rho = \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,49}{400}} \right) = 0,003863$$

Maka ρ pakai = 0,003863

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003863 \times 1000 \times 85 \\ &= 328,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tul.} = \frac{328,38}{1/4 \times \pi \times 10^2} = 4,18 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tul} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{As} \\ &= 329,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pasang > As perlu

Maka digunakan tulangan lentur D10-200 mm.

b. Perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan arah Y

$$\beta = 1,14 \quad (\text{terjepit penuh})$$

$$\text{Muly (+)} = X1 = 27$$

$$\text{Muly (-)} = X2 = 65 \quad (\text{PBI Tabel 13.3.1 Tipe VI A})$$

$$\begin{aligned}
Mly &= (-) Mtx \\
&= 0,001 \times 734,176 \times (412,5)^2 \times 65 \\
&= 812,01 \text{ kg.m} \\
m &= \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68 \\
Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{8120101}{0,75 \times 1000 \times 85^2} = 1,49 \\
\rho &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,49}{400}} \right) = 0,003863
\end{aligned}$$

Maka ρ pakai = 0,003863

$$\begin{aligned}
As \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
&= 0,003863 \times 1000 \times 85 \\
&= 328,38 \text{ mm}^2 \\
S \text{ max} &= 450 \text{ mm} \\
\text{Jumlah tul.} &= \frac{328,38}{1/4 \times \pi \times 10^2} = 4,18 \approx 5 \text{ buah} \\
\text{Jarak tul} &= \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm} \\
As \text{ pasang} &= n \times As \\
&= 392,69 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

As pasang > As perlu

Maka digunakan tulangan lentur D10-200 mm.

Dengan cara yang sama untuk penulangan pelat lantai apartemen dan pelat atap tipe lainnya, maka didapatkan jumlah tulangan seperti pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai Apartemen dan Pelat Atap

Pelat Lantai Apartemen				
Tipe	Arah	h pelat (cm)	Tulangan	
			X	Y
1	2	13	D10-200	D10-200
2	2	13	D10-250	D10-250
3	2	13	D10-250	D10-250
4	2	13	D10-250	D10-250
5	2	13	D10-250	D10-250
6	2	13	D10-250	D10-250
7	2	13	D10-250	D10-250

Pelat Lantai Atap				
Tipe	Arah	h pelat (cm)	Tulangan	
			X	Y
1A	2	12	D10-200	D10-200
2A	2	12	D10-200	D10-200
3A	2	12	D10-250	D10-250
4A	2	12	D10-250	D10-250
5A	2	12	D10-200	D10-250
6A	2	12	D10-200	D10-200
7A	2	12	D10-250	D10-250
8A	2	12	D10-200	D10-200

4.2.4 Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi sebagai pendistribusi beban. Dalam perencanaan modifikasi struktur Gedung Apartemen CBD Wiyung hanya terdapat 1 jenis balok anak yang berlokasi di lantai atap daerah balok pratekan.

4.2.4.1 Perhitungan Penulangan Balok Anak

a. Data Perencanaan

L	= 5000 mm
Mu tumpuan (-)	= 5.520.700 N.mm
Mu tumpuan (+)	= 5.950.700 N.mm
Mu lapangan	= 12.548.300 N.mm
Vu	= 15771,1 N.mm
Tu	= 1.253.000 N.mm
Fc'	= 30 MPa
Fy	= 400 MPa
Tulangan Lentur (D)	= 16 mm
As tulangan	= 201,143 mm ²
Tul. Sengkang (D)	= 10 mm
As tulangan	= 78,53 mm ²
b	= 200 mm
h	= 250 mm
Decking	= 40 mm
D	= h – (decking+Ø sengkang+½ Ø lentur)
	= 242 mm

b. Perhitungan tulangan negatif tumpuan

Ø = 0,9 untuk asumsi kondisi *tension controlled section*; 0,75 untuk geser dan torsi (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{5520700}{0,9 \times 250 \times 242^2} = 0,419$$

$$\text{Ambil } \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,419}{400}} \right) = 0,0016\end{aligned}$$

$$\text{Maka dipakai } \rho = 0,0035$$

-Tulangan tumpuan atas

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 250 \times 242 = 211,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul}}} = \frac{211,75}{201,143} = 1,05 \approx 2 \text{ buah}$$

$$S \text{ (jarak tul)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2 \cdot d' - 2 \cdot \phi \cdot s}{n - 1} = 118 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan atas hasil perhitungan tumpuan negatif adalah 2D16.

-Tulangan tumpuan bawah

$$As_{\min} = \frac{1}{2} \times As = \frac{1}{2} \times 211,75 \text{ mm}^2 = 105,875 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{105,875}{201,143} = 10,53 \approx 1$$

Tulangan bawah hasil perhitungan tumpuan negatif adalah 1D16.

c. Perhitungan tulangan positif tumpuan

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{5950700}{0,9 \times 250 \times 242^2} = 0,452$$

$$\text{Ambil } \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,452}{400}} \right) = 0,0014\end{aligned}$$

Maka dipakai $\rho = 0,0035$

-Tulangan tumpuan bawah

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 250 \times 242 = 211,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{211,75}{201,143} = 1,05 \approx 2 \text{ buah}$$

$$S \text{ (jarak tul)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2 \cdot d' - 2 \cdot \phi \cdot s}{n - 1} = 118 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan bawah hasil perhitungan tumpuan positif adalah 2D16.

-Tulangan tumpuan atas

$$\text{As min} = \frac{1}{2} \times \text{As} = \frac{1}{2} \times 211,75 \text{ mm}^2 = 105,875 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{105,875}{201,143} = 0,53 \approx 1$$

Tulangan atas hasil perhitungan tumpuan positif adalah 1D16.

d. Perhitungan tulangan positif lapangan

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{12548300}{0,9 \times 250 \times 242^2} = 0,95$$

$$\text{Ambil } \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 0,95}{400}} \right) = 0,00243\end{aligned}$$

$$\text{Maka dipakai } \rho = 0,0035$$

-Tulangan Lapangan Bawah

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 250 \times 242 = 211,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{211,75}{201,143} = 1,05 \approx 2$$

$$S \text{ (jarak tul)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2 \cdot d' - 2 \cdot \phi \cdot s}{n - 1} = 118 \text{ mm}$$

Tulangan bawah hasil perhitungan lapangan positif adalah 2D16.

-Tulangan Lapangan Atas

$$As_{min} = \frac{1}{2} \times As = \frac{1}{2} \times 211,75 \text{ mm}^2 = 105,875 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ (jumlah)} = \frac{As_{perlu}}{As_{tul}} = \frac{105,875}{201,143} = 0,53 \approx 1 \text{ buah}$$

Tulangan bawah hasil perhitungan lapangan positif adalah 1D16.

e. Perhitungan tulangan geser

$$Vu = 105979 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{fc} \times bw \times d$$

$$= 56333,27 \text{ N}$$

$$Vs_{min} = \frac{1}{3} \times \sqrt{fc} \times bw \times d$$

$$= 110457,38 \text{ N}$$

- $Vu \leq 0,5 \times \emptyset \times Vc$ (tidak perlu perkuatan geser)
 $105979 \text{ N} \leq 21124,97 \text{ N}$ **(Tidak OK)**
- $0,5 \times \emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times Vc$ (perlu tulangan geser minimum)
 $21124,97 \text{ N} \leq 105979 \text{ N} \leq 42249,95 \text{ N}$ **(Tidak OK)**
- $\emptyset \times Vc \leq Vu \leq \emptyset \times (Vc + Vs_{min})$ (perlu tulangan geser dengan $S_{min} = d/2$)
 $42249,95 \text{ N} \leq 105979 \text{ N} \leq 125092,99 \text{ N}$
- $\emptyset \times (Vc + Vs_{min}) \leq Vu \leq \emptyset \left(Vc + \left(\frac{2}{3} \times \sqrt{fc} \times bw \times d \right) \right)$ (perlu tulangan geser dengan $S_{min} = d/4$)
 $125092,99 \text{ N} \geq 105979 \text{ N} \leq 206279 \text{ N}$ **(Tidak OK)**

Maka termasuk kategori membutuhkan tulangan geser dengan

$$S_{min} = d/2 = 242/2 = 121 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

$$Av = n \times As_{D10}; \text{ dipasang D10}$$

$$= 2 \times 78,539$$

$$\begin{aligned}
 S &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{s_{\min}}} \\
 &= \frac{157,08 \times 400 \times 242}{110457,38} = 137,66 \text{ mm} > S_{\min}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan 2D10-120 mm.

f. Panjang Penyaluran Kondisi Tarik

Untuk penulangan balok anak yang masuk ke balok pratekan perlu diperhitungkan panjang penyalurannya pada kondisi tarik. (berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3)

$f_c' = 40$ (balok pratekan)

$d_b = 16 \text{ mm}$

$\psi_t = 1$

$\psi_e = 1$

$\psi_s = 1$

$K_{tr} = 0$

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \leq 2,5 \text{ (berdasarkan pasal 12.2.3)}$$

Asumsikan sebesar 2,5

$$l_d = \frac{(f_y \times \psi_t \times \psi_e \times \psi_s)}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right)} \times d_b$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= \frac{(400 \times 1 \times 1 \times 1)}{1,1 \times 1 \times \sqrt{40} \times 2,5} \times 16 \\
 &= 367,97 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

g. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2)

$d_b = 16 \text{ mm}$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times db = \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \times 16 = 242,86 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times db = 0,043 \times 400 \times 16 = 275,2 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} pakai = 275,2 mm

syarat $l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$ (OK)

h. Panjang Penyaluran Kait Standar

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1)

$$db = 16 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times db = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \times 16$$

$$l_{dh} = 242,86 \text{ mm}$$

perpanjang kait:

$$12db = 12 \times 16 = 192 \text{ mm}$$

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Balok Anak Ballroom					
Tipe Balok	Tumpuan		Lapangan		Sengkang
	Negatif	Positif	Negatif	Positif	
BA1	2D16	2D16	2D16	2D16	2D10-120

4.2.5 Perencanaan Lift dan Balok Penumpu Lift

4.2.5.1 Spesifikasi Lift

Pada bangunan ini menggunakan lift penumpang dengan data-data sebagai berikut (untuk lebih jelas, dapat dilihat di brosur lift pada lampiran):

- Tipe lift : Passenger Lift
- Merk : Hyundai Elevator
- Kapasitas : 1814 kg
- Lebar pintu (opening width) : 1219 mm
- Dimensi ruang luncur : 3137 mm × 2032 mm
- Dimensi sangkar
 - Internal : 2337 mm × 1651 mm
- Dimensi ruang mesin (1 car) : 3442 mm × 3556 mm
- Beban reaksi ruang mesin
 - R1 : 73 kN
 - R2 : 138 kN

4.2.5.2 Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift

- Balok Penumpu Lift

Panjang balok penumpu lift = 500 cm

$$h = \frac{L}{16} = \frac{500}{16} = 31,5 \text{ cm, ambil dimensi } h = 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 45 = 30 \text{ cm, ambil dimensi } b = 30 \text{ cm}$$

Diperoleh dimensi balok penumpu lift 30/45 cm.

4.2.5.3 Pembebanan Balok Penumpu Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu

Beban yang bekerja merupakan beban akibat mesin penggerak lift+berat kereta luncur + perlengkapan dan akibat bandul pemberat + perlengkapan

2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3 (3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran

induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana:

- Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15
- V = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.
- k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.
- k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$P = \sum R \cdot \Psi = (7300 + 13800) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \geq 1,15$$

$$P = 37558 \text{ kg}$$

3. Pembebanan balok penumpang lift

- Beban mati (q_d)

Berat sendiri balok	= $0,3 \times 0,45 \times 2400$
	= 324 kg/m
Berat pelat beton	= $0,13 \times 5 \times 2400$
	= 1560 kg/m
Berat aspal	= $1 \times 5 \times 14$
	= 70 kg/m
q_d	= 1954 kg/m

- **Beban Hidup (q_l)**

$$q_l = \frac{1814}{3,137} = 578,259 \text{ kg}$$

- **Beban berfaktor**

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l \\ &= 1,2 (1954) + 1,6 (578,259) \\ &= 3270,0144 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Beban terpusat Lift**

$$\begin{aligned} P &= 37558 \text{ kg} \\ V_u &= (\frac{1}{2} q_u \times L) + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} (3270,0144) + \frac{1}{2} (37558) \\ &= 20414,0072 \text{ kg} \\ &= 204,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= (\frac{1}{2} q_u \times L^2) + (\frac{1}{4} P \times L) \\ &= (\frac{1}{2} \times 3270,0144 \times 5^2) + (\frac{1}{4} \times 37558 \times 5) \\ &= 87822,68 \text{ kg.m} \\ &= 878,227 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.2.5.4 Penulangan Balok Lift

Dikarenakan balok penumpu lift terbaring diatas dinding geser, perhitungan penulangan lentur balok penumpu lift hanya menggunakan ρ_{\min} dan tulangan geser minimum.

- **Data perencanaan**

$$\begin{aligned} L &= 50 \\ f_c &= 30 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ \text{tul lentur (D)} &= 16 \text{ mm} \\ \text{As tulangan} &= 201,0619 \text{ mm}^2 \\ \text{Tul Sengkang} &= 10 \text{ mm} \\ \text{As tulangan} &= 78,539 \text{ mm}^2 \\ B &= 30 \text{ cm} \\ H &= 45 \text{ cm} \\ \text{Decking} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h' + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul.utama}} \\
 &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 16 \\
 &= 58 \text{ mm} \\
 d &= 450 - 58 = 392 \text{ mm} \\
 \emptyset &= 0,9 \text{ untuk asumsi kondisi } \textit{tension controlled section}; 0,75 \text{ untuk geser dan torsi (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)} \\
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\
 &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0319 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \\
 \rho_{\max} &= 0,025 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)} \\
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686
 \end{aligned}$$

- Perhitungan tulangan negatif tumpuan

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{0,75 \times b \times d^2} = \frac{878226800}{0,75 \times 300 \times 392^2} = 25,4 \\
 \rho &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 25,4}{400}} \right) = -0,0634 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 300 \times 392 \\
 &= 411,6 \text{ mm}^2 \\
 n(\text{jumlah}) &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{411,6}{201,0619} = 2,05 \approx 3 \text{ buah} \\
 S(\text{jarak tul}) &= \frac{b - n.\phi.L - 2.d' - 2.\phi.s}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - 3.(16) - 2.(40) - 2.(10)}{3 - 1} \\
 &= 76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur **3D16**

- **Perhitungan tulangan positif tumpuan**

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= \frac{1}{2} \times As = \frac{1}{2} \times 411,6 = 205,8 \text{ mm}^2 \\
 N(\text{jumlah}) &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{205,8}{201,0619} = 1,02 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipakai **2D16**

- **Perhitungan tulangan positif lapangan**

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 300 \times 392 \\
 &= 411,6 \text{ mm}^2 \\
 n(\text{jumlah}) &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{411,6}{201,0619} = 2,05 \approx 3 \text{ buah} \\
 S(\text{jarak tul}) &= \frac{b - n.\phi.L - 2.d' - 2.\phi.s}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - 3.(16) - 2.(40) - 2.(10)}{3 - 1} \\
 &= 76 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan lentur **3D16**

- **Perhitungan tulangan negatif lapangan**

$$As_{\min} = \frac{1}{2} \times As = \frac{1}{2} \times 411,6 = 205,8 \text{ mm}^2$$

$$N \text{ (jumlah)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{205,8}{201,0619} = 1,02 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipakai **2D16**

- **Perhitungan tulangan geser**

$$Vu = 20414 \text{ kg}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{fc'} \times bw \times d$$

$$Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 392 = 10735,362 \text{ kg}$$

$$Vs_{\min} = \frac{1}{3} \times \sqrt{fc'} \times bw \times d$$

$$Vs_{\min} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 392 = 21470,724 \text{ kg}$$

Memenuhi syarat:

$$\phi Vc < Vu < \phi(Vc + Vs_{\min})$$

$$0,75 \times 10735,362 < 20414 < 0,75(10735,362 + 21470,724)$$

$$8051,52 < 20414 < 24154,57 \text{ (OK)}$$

Termasuk kategori membutuhkan tulangan geser dengan:

$$S_{\min} = d/2 = 392/2 = 196 \text{ mm}$$

$$Av = n \times As \text{ D10 (dipasang 2D10)}$$

$$= 2 \times 78,539$$

$$= 157,078 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{Av \times fy \times d}{Vs_{\min}} = \frac{157,078 \times 400 \times 392}{21470,724} = 114,713$$

Dipakai D10-120

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{S} = \frac{157,078 \times 400 \times 392}{120}$$

$$Vs = 205248,59 \text{ kN} > 214707,24 \text{ kN (OK)}$$

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Penulangan Balok Penumpu Lift

Balok Penumpu Lift					
Tipe Balok	Tumpuan		Lapangan		Senggang
	Negatif	Positif	Negatif	Positif	
BL	3D16	2D16	2D16	3D16	2D10-120

4.3 Pembebanan dan Analisis Struktur

4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012.

4.3.2 Permodelan Struktur

Dalam perhitungan analisis beban gempa, perlu suatu permodelan struktur dimana struktur Gedung Apartemen Puncak CBD menggunakan analisa respon dinamik. Struktur gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung ini memiliki total 41 lantai, tinggi total gedung $\pm 121,3$ meter.

4.3.3 Pembebanan Gravitasi

Data-data perencanaan pembebanan Apartemen Puncak CBD Wiyung yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Input beban sendiri
 - Mutu beton (f_c') = 40 MPa
 - Mutu Baja (f_y) = 400 MPa
 - Ketinggian lantai
 - Lobby = 3 m
 - Lt. P1 – P3 = 3 m (tiap lantai)
 - Lt. 1 -36 = 2,95 m (tiap lantai)

- Lt. 37 = 3,4 m (tiap lantai)
- Dimensi balok = 30/50; 25/35; 20/30 cm
- Balok Pratekan = 50/70 cm
- Tebal Pelat Atap = 12 cm
- Tebal Pelat Lantai = 13 cm
- Dimensi kolom = 85/85; 75/75; 65/65; 60/60 cm
- Faktor keutamaan = 1 (gedung apartemen)

- Input beban hidup
 - Lantai Apartemen = 1,92 kN/m²
 - Lantai Ballroom = 4,79 kN/m²
 - Lantai Atap = 1,156 kN/m²

- Input beban mati (superdead)
 - Penggantung = 7 kg/m²
 - Plafond = 11 kg/m²
 - Spesi (t=2cm) = $21 \times 2 = 42$ kg/m²
 - Tegel (t=1cm) = 24 kg/m²
 - Ducting & pumbling = 30 kg/m²

Berat sendiri elemen dikalkulasi oleh program ETABS.

Sehingga didapatkan rekap pembebanan gravitasi secara manual seperti pada **Tabel 4.16**.

LANTAI ATAP							
Item	Dimensi				Jumlah	Berat	satuan
BI 30/50	0,3	0,5	598	23,536	1	2111,18	kN
BI 25/35	0,25	0,35	30,9	23,536	1	63,64	kN
BA 20/30	0,2	0,3	60	23,536	1	84,73	kN
BP 50/70	0,5	0,7	95,55	23,536	1	787,10	kN
Pelat	0,12	1676,22	1	23,536	1	4734,18	kN
Total Dead						5669,65	kN
Superdead	1,04	1676,22	1		1	1743,27	kN
Total SD						1743,27	kN
Hidup Atap	1,156	1676,22	1		1	1937,71	kN
Total Live						1937,71	kN

Shearwall									
Shearwall LOBBY-P3	0,4	42,075	3	23,536	2	4	9506,66	kN	
Shearwall 1-7	0,4	42,075	2,95	23,536	2	7	16359,38	kN	
Shearwall 8-17	0,4	42,075	2,95	23,536	2	10	23370,54	kN	
Shearwall 18-27	0,4	42,075	2,95	23,536	2	10	23370,54	kN	
Shearwall 28-36	0,4	42,075	2,95	23,536	2	9	21033,49	kN	
Shearwall Atap	0,4	42,075	3,4	23,536	2	1	2693,55	kN	
Total							96334,17	kN	

REKAPITULASI LOBBY - Lantai Atap			
	Etabs	Manual	Satuan
Pelat	559.780,92	202.110,47	kN
Balok		112.005,38	kN
Kolom		164.401,74	kN
Shearwall		96.334,17	kN
Live	126.969,97	126.969,87	kN
SD	75.283,36	75.283,30	kN
Total	762.034,25	777.104,92	kN
Selisih	0,01978	1,978	OK

Didapatkan total *base reaction* hasil analisis program bantu ETABS berat sebesar 762.034,45 kN. Dan perhitungan secara manual sebesar 777.104,92 kN.

Sehingga didapatkan rasio selisih sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Rasio} &= (W_{\text{manual}} / W_{\text{total}}) - 1 \\ &= \left(\frac{777.104,92}{762.034,45} \right) - 1 = 0,01978 \\ &= 0,01978 \times 100\% = 1,978 \% < 5\% \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Jadi, dapat disimpulkan bahwa pembebanan gravitasi pada ETABS sudah benar.

4.3.4 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.4.1 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori risiko pada peraturan. Kategori risiko untuk gedung apartemen yaitu II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1.

4.3.4.2 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat pada proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan Apartemen Puncak CBD Wiyung didapatkan data tanah berdasarkan nilai N_{ch} dari tes NSPT = 30 ($15 < N_{ch} < 50$), maka termasuk dalam kelas situs SD (tanah sedang).

4.3.4.3 Parameter Respon Spectral dan Percepatan Spectral Desain

Sebagai input data pada ETABS, diperlukan data percepatan respon spectrum yang diambil dari website puskim.pu.go.id. Dari web tersebut didapatkan data pada lokasi Surabaya dengan kelas situs SD (tanah sedang) seperti pada tabel 4.17.

4.3.4.4 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel SNI 1726:2012 Tabel 6. Untuk S_{DS} sebesar 0,563 dan S_{D1} sebesar 0,320, kategori risiko II, maka gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung termasuk dalam kategori desain seismik kategori D. Untuk kategori D tipe struktur menggunakan sistem ganda yaitu Dinding Geser Beton Bertulang Khusus dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel. 9

Tabel 4. 17 Parameter Respon Spektrum dan Percepatan Spectral Desain

Tanah Sedang (SD)	
S_S	0,667
S_1	0,253
F_A	1,266
F_V	1,893
S_{MS}	0,845
S_{DS}	0,563
S_{M1}	0,480
S_{D1}	0,320

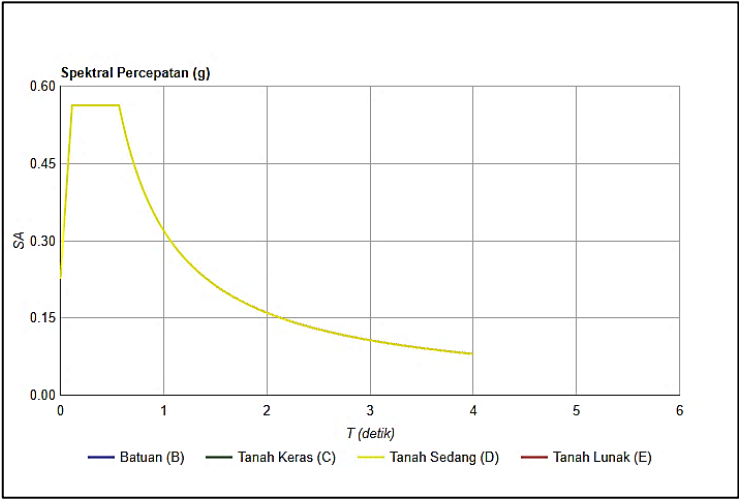
4.3.4.5 Periode Fundamental dan Respon Spectrum Desain

Untuk periode fundamental dan respon spectrum desain didapat data dari web puskim.pu.go.id seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 18 Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra

T(detik)	SA (g)	T(detik)	SA (g)	T(detik)	SA (g)
0	0,225	1,568	0,192	2,868	0,108
0,114	0,563	1,668	0,181	2,968	0,104
0,568	0,563	1,768	0,171	3,068	0,101
0,568	0,479	1,868	0,163	3,168	0,098

0,668	0,416	1,968	0,155	3,268	0,095
0,768	0,368	2,068	0,148	3,368	0,092
0,868	0,33	2,168	0,141	3,468	0,09
0,968	0,299	2,268	0,135	3,568	0,087
1,068	0,274	2,368	0,13	3,668	0,085
1,168	0,252	2,468	0,125	3,768	0,083
1,268	0,234	2,568	0,12	3,868	0,081
1,368	0,218	2,668	0,116	4,568	0,08
1,468	0,204	2,768	0,112		



Gambar 4. 12 Grafik Respon Spektra

4.3.4.6 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

$$T = T_a \times C_u$$

T_a = periode fundamental pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2012 kontrol waktu getar alami fundamental adalah:

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Nilai C_t dan x didapatkan dari Tabel 15 SNI 1726:2012.

Pada arah X dan Y:

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times (121,6)^{0,9} \\ = 3,506 \text{ s}$$

Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk Batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 14 SNI 1726:2012 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.2.1 ($T < C_u \times T_a$ dan $T < T_a$).

Dari nilai $SD_1 = 0,320$, didapatkan koefisien $C_u = 1,4$. Maka nilai $C_u \times T_a$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_u \cdot T_a = 1,4 \times 3,506 \\ = 4,908 \text{ s}$$

Nilai T yang didapat dari program bantu ETABS seperti Tabel

Tabel 4. 19 Modal Periode dan Frekuensi

TABLE: Modal Periods and Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	3,457	0,289	1,8	3,3
Modal	2	3,105	0,322	2,0	4,1
Modal	3	2,629	0,38	2,4	5,7
Modal	4	0,991	1,009	6,3	40,2
Modal	5	0,852	1,174	7,4	54,4
Modal	6	0,695	1,438	9,0	81,7
Modal	7	0,472	2,117	13,3	176,9
Modal	8	0,4	2,497	15,7	246,2

Modal	9	0,324	3,085	19,4	375,8
Modal	10	0,284	3,519	22,1	488,9
Modal	11	0,246	4,071	25,6	654,2
Modal	12	0,201	4,97	31,2	975,2
Modal	13	0,194	5,153	32,4	1048,4
Modal	14	0,172	5,807	36,5	1331,2
Modal	15	0,147	6,799	42,7	1825,0
Modal	16	0,141	7,115	44,7	1998,7
Modal	17	0,132	7,588	47,7	2273,1
Modal	18	0,117	8,582	53,9	2908,0
Modal	19	0,108	9,221	57,9	3356,8
Modal	20	0,106	9,408	59,1	3494,6
Modal	21	0,096	10,387	65,3	4259,0
Modal	22	0,089	11,235	70,6	4983,0
Modal	23	0,088	11,38	71,5	5112,7
Modal	24	0,082	12,214	76,7	5889,4
Modal	25	0,076	13,086	82,2	6760,3
Modal	26	0,074	13,551	85,1	7249,1
Modal	27	0,071	14,019	88,1	7758,6
Modal	28	0,067	14,895	93,6	8758,7
Modal	29	0,063	15,75	99,0	9793,7
Modal	30	0,063	15,835	99,5	9899,5
Modal	31	0,06	16,716	105,0	11031,0
Modal	32	0,057	17,625	110,7	12263,7
Modal	33	0,056	17,917	112,6	12674,0
Modal	34	0,054	18,525	116,4	13548,4
Modal	35	0,051	19,428	122,1	14900,7
Modal	36	0,05	20,086	126,2	15926,7
Modal	37	0,049	20,34	127,8	16333,0
Modal	38	0,047	21,2	133,2	17742,6
Modal	39	0,045	22,121	139,0	19317,6
Modal	40	0,045	22,236	139,7	19520,6
Modal	41	0,044	22,977	144,4	20842,3

T terbesar yang didapat dari analisis ETABS = 3,457 s, maka:

$$- T < C_u \times T_a$$

$$- T < T_a$$

$$3,457 \text{ s} < 4,914 \text{ s (OK)}$$

$$3,457 \text{ s} < 3,506 \text{ s (OK)}$$

Dapat disimpulkan bahwa periode fundamental struktur dapat dipakai.

4.3.4.7 Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Koefisien respon seismic, C_s , harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1. Nilai R yang dipakai yaitu R untuk sistem ganda dengan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus = 7. (SNI 1726:2012 Tabel 9.)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

dimana:

$$S_{DS} = 0,563$$

$$I_e = 1$$

$$R = 7$$

$$C_s = \frac{0,563}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0804$$

Dan nilai C_s tidak lebih dari:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

dimana:

$$S_{D1} = 0,320$$

$$I_e = 1$$

$$R = 7$$

$$T = 3,886$$

$$C_s = \frac{0,320}{3,886 \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,011764$$

Dan nilai C_s tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \times 0,563 \times 1 = 0,0247 \geq 1$$

Maka diambil nilai $C_s = 0,013$

Untuk perhitungan gempa faktor reduksi beban hidup untuk gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung sebesar 0,5 (SNI 1726:2012), sehingga didapatkan berat seismic efektif bangunan (W) sebagai berikut:

Tabel 4. 20 Berat Seismik Bangunan Hasil ETABS

Load Case/Combo	FZ (kN)
1D + 0,5L	698549,2661

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan diatas akan di distribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 1726:2012.

$$V = C_s \times W$$

dimana:

$$C_s = 0,011764$$

$$W = 698549,2661 \text{ kN}$$

$$V = C_s \times W$$

$$= 0,013 \times 698549,26 = 9237,3968 \text{ kN}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil dari 85% geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \times V/V_t$ (SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu ETABS didapatkan gaya geser ragam (V_t) sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Gaya Geser Dasar Hasil ETABS

Load Case/Combo	Global FX (kN)	Global FY (kN)
Gempa X	6808,1102	2498,9557
Gempa Y	2042,8066	8328,8146

$$V = 9237,3968 \text{ kN}$$

$$V_{xt} = 6806,11 \text{ kN}$$

$$V_{yt} = 8328,82 \text{ kN}$$

Maka untuk arah X,

$$V_{xt} > 0,85 \cdot V$$

$$6806,11 \text{ kN} > 0,85 \times 9237,3968 \text{ kN}$$

$$6806,11 \text{ kN} > 7851,787 \quad \textbf{(NOT OK)}$$

Maka untuk arah Y,

$$V_{yt} > 0,85 \cdot V$$

$$8328,82 \text{ kN} > 0,85 \times 9237,3968 \text{ kN}$$

$$8328,82 \text{ kN} > 7851,787 \quad \textbf{(OK)}$$

Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, maka gaya geser tingkat nominal akibat gempa rencana struktur gedung hasil analisis untuk arah X, harus dikalikan dengan faktor skala $0,85 V/V_t$

Arah X:

$$\frac{0,85 \times V}{V_{xt}} = \frac{9237,39}{6806,11} = 1,16$$

Setelah didapatkan faktor skala untuk arah pembebanan X, selanjutnya dilakukan analisa ulang struktur dengan mengalikan faktor yang diperoleh diatas pada *scale factor* untuk *Define Respons Spectra*. Kemudian dilakukan running ulang pada program ETABS. Hasil dari *running* ulang tersebut adalah sesuai **Tabel 4.22**.

Tabel 4. 22 Gaya Geser Dasar hasil ETABS setelah Scale Factor

Load Case/Combo	Global FX (kN)	Global FY (kN)
Gempa X Max	8169,7322	2998,7111
Gempa Y Max	2042,8066	8328,8146

$$\begin{aligned}
 V &= 9237,3968 \text{ kN} \\
 V_{xt} &= 8169,7322 \text{ kN} \\
 V_{yt} &= 8328,8146 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka untuk arah X,

$$\begin{aligned}
 V_{xt} &> 0,85V \\
 8169,7322 \text{ kN} &> 0,85 \times 9237,3968 \text{ kN} \\
 8169,7322 \text{ kN} &> 7851,78728 \quad \textbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan *running* ulang pada program ETABS, gaya geser tingkat nominal pun telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam hasil *running* ulang tersebut akan digunakan sebagai beban gempa desain.

4.3.4.8 Kontrol Dual System

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Berikut total reaksi SRPM dan shearwall (**Tabel 4.23**)

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa presentase total dari SRPM memiliki nilai lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur *dual system*.

Tabel 4. 23 Kontrol Sistem Ganda

	Gempa X (kN)	Gempa Y (kN)	% Gempa X	% Gempa Y
SRPM	2857,33	3202,10	29,63	27,39
Shearwall	6784,99	8488,15	70,37	72,61
Total	9642,32	11690,25	100,00	100,00

4.3.4.9 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2012, perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurang-kurangnya adalah 90% (**Tabel 4.24**)

Tabel 4. 24 Modal Participating Mass Ratios

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
		sec			
Modal	1	3,457	0,6043	4E-05	0
Modal	2	3,105	0,6043	0,6623	0
Modal	3	2,629	0,6775	0,6623	0
Modal	4	0,991	0,8139	0,6623	0
Modal	5	0,852	0,8139	0,8302	0
Modal	6	0,695	0,828	0,8302	0
Modal	7	0,472	0,8869	0,8302	0
Modal	8	0,4	0,8869	0,8968	0
Modal	9	0,324	0,8924	0,8968	0
Modal	10	0,284	0,9231	0,8968	0
Modal	11	0,246	0,923	0,9301	0
Modal	12	0,201	0,9305	0,9301	0
Modal	13	0,194	0,9436	0,9301	0
Modal	14	0,172	0,9436	0,9486	0
Modal	15	0,147	0,9562	0,9486	0
Modal	16	0,141	0,9566	0,9486	0
Modal	17	0,132	0,9566	0,9603	0
Modal	18	0,117	0,9652	0,9603	0
Modal	19	0,108	0,9653	0,9603	0
Modal	20	0,106	0,9653	0,9681	0
Modal	21	0,096	0,9714	0,9681	0
Modal	22	0,089	0,9714	0,9735	0

Modal	23	0,088	0,9715	0,9735	0
Modal	24	0,082	0,976	0,9735	0
Modal	25	0,076	0,976	0,9776	0
Modal	26	0,074	0,9761	0,9776	0
Modal	27	0,071	0,9795	0,9776	0
Modal	28	0,067	0,9795	0,9808	0
Modal	29	0,063	0,9801	0,9808	0
Modal	30	0,063	0,9823	0,9808	0
Modal	31	0,06	0,9823	0,9834	0
Modal	32	0,057	0,9845	0,9834	0
Modal	33	0,056	0,9845	0,9834	0
Modal	34	0,054	0,9845	0,9854	0
Modal	35	0,051	0,9864	0,9854	0
Modal	36	0,05	0,9864	0,9854	0
Modal	37	0,049	0,9864	0,9871	0
Modal	38	0,047	0,9879	0,9871	0
Modal	39	0,045	0,9879	0,9885	0
Modal	40	0,045	0,9879	0,9885	0
Modal	41	0,044	0,9892	0,9885	0

Dari tabel diatas didapatkan bahwa dalam penjumlahan respon ragam menghasilkan respon total telah mencapai 90% untuk arah X dan Y pada modal ke-11. Maka ketentuan menurut SNI 1726: 2012 pasal 7.9.1 terpenuhi.

4.3.4.10 Kontrol Drift

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, membatasi peretakan beton yang berlebihan. Simpangan gedung Apartemen Puncak CBD Wiyung didapatkan dengan program bantu ETABS.

Tabel 4. 25 Batas Simpangan Gedung

Struktur	Kategori Risiko		
	I dan II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^e$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding kantilever dengan batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

Berikut merupakan drift ijin yang didapat dari perhitungan diatas.

$$\begin{aligned}
 \delta_{ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\
 &= 0,020 \times 3000 = 60 \text{ mm (Lobby – Lt P3)} \\
 \delta_{ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\
 &= 0,020 \times 2950 = 59 \text{ mm (Lt.1 – Lt. 36)} \\
 \delta_{ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\
 &= 0,020 \times 3400 = 68 \text{ mm (Lt.37)}
 \end{aligned}$$

Lalu dilanjutkan mencari δ_i dengan cara perhitungan sebagai berikut:

$$\delta_i = \text{Drift} \times C_d/I_e; \text{ dengan } C_d = 5,5 \text{ (SNI 1726:2012 Tabel 9)}$$

Dari hasil perhitungan ETABS, didapatkan drift dan δ_i sesuai dengan SNI 1726:2012 seperti pada **Tabel 4.26** dan **Tabel 4.27**.

Maka dapat disimpulkan bahwa berdasarkan simpangan yang terjadi searah sumbu X maupun Y memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726:2012.

Tabel 4. 26 Kontrol Simpangan Arah X

GEMPA ARAH X							
Story	Elevation	Gempa X		Drift		δ_{ijin}	Kontrol
		X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-dir (mm)	Y-dir (mm)	(mm)	
Story37	122,75	78,151	39,476	10,5655	6,061	68	OK
Story36	119,35	76,23	38,374	9,2785	5,335	59	OK
Story35	116,4	74,543	37,404	9,4215	5,379	59	OK
Story34	113,45	72,83	36,426	9,581	5,4505	59	OK
Story33	110,5	71,088	35,435	9,7735	5,5165	59	OK
Story32	107,55	69,311	34,432	9,966	5,5935	59	OK
Story31	104,6	67,499	33,415	10,175	5,665	59	OK
Story30	101,65	65,649	32,385	10,3895	5,742	59	OK
Story29	98,7	63,76	31,341	10,5985	5,8135	59	OK
Story28	95,75	61,833	30,284	10,8405	5,8905	59	OK
Story27	92,8	59,862	29,213	10,989	5,94	59	OK
Story26	89,85	57,864	28,133	11,2035	6,0005	59	OK
Story25	86,9	55,827	27,042	11,3905	6,05	59	OK
Story24	83,95	53,756	25,942	11,583	6,105	59	OK
Story23	81	51,65	24,832	11,7535	6,149	59	OK
Story22	78,05	49,513	23,714	11,9295	6,182	59	OK
Story21	75,1	47,344	22,59	12,0835	6,215	59	OK
Story20	72,15	45,147	21,46	12,2265	6,237	59	OK
Story19	69,2	42,924	20,326	12,3475	6,248	59	OK
Story18	66,25	40,679	19,19	12,4905	6,2645	59	OK
Story17	63,3	38,408	18,051	12,4685	6,215	59	OK
Story16	60,35	36,141	16,921	12,551	6,215	59	OK
Story15	57,4	33,859	15,791	12,5675	6,182	59	OK
Story14	54,45	31,574	14,667	12,562	6,1325	59	OK
Story13	51,5	29,29	13,552	12,5345	6,0775	59	OK
Story12	48,55	27,011	12,447	12,4575	6,0005	59	OK

Story11	45,6	24,746	11,356	12,353	5,907	59	OK
Story10	42,65	22,5	10,282	12,199	5,786	59	OK
Story9	39,7	20,282	9,23	11,99	5,643	59	OK
Story8	36,75	18,102	8,204	11,7425	5,4835	59	OK
Story7	33,8	15,967	7,207	11,352	5,269	59	OK
Story6	30,85	13,903	6,249	11,022	5,0765	59	OK
Story5	27,9	11,899	5,326	10,5875	4,8345	59	OK
Story4	24,95	9,974	4,447	10,0595	4,554	59	OK
Story3	22	8,145	3,619	9,4325	4,235	59	OK
Story2	19,05	6,43	2,849	8,6955	3,872	59	OK
Story1	16,1	4,849	2,145	7,8155	3,454	59	OK
P3	13,15	3,428	1,517	6,897	3,025	60	OK
P2	9,45	2,174	0,967	5,6595	2,4805	60	OK
P1	6,3	1,145	0,516	4,2075	1,859	60	OK
LOBBY	3,15	0,38	0,178	2,09	0,979	60	OK

Tabel 4. 27 Kontrol Simpangan Arah Y

GEMPA ARAH Y							
Story	Elevation	Gempa Y		Drift		δ_{ijin} (mm)	Kontrol
		X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-dir (mm)	Y-dir (mm)		
Story37	122,75	19,547	54,592	2,6455	8,36	68	OK
Story36	119,35	19,066	53,072	2,321	7,3425	59	OK
Story35	116,4	18,644	51,737	2,354	7,436	59	OK
Story34	113,45	18,216	50,385	2,398	7,524	59	OK
Story33	110,5	17,78	49,017	2,442	7,6285	59	OK
Story32	107,55	17,336	47,63	2,4915	7,722	59	OK
Story31	104,6	16,883	46,226	2,5465	7,821	59	OK
Story30	101,65	16,42	44,804	2,6015	7,909	59	OK
Story29	98,7	15,947	43,366	2,651	7,997	59	OK
Story28	95,75	15,465	41,912	2,7115	8,096	59	OK
Story27	92,8	14,972	40,44	2,7445	8,1235	59	OK
Story26	89,85	14,473	38,963	2,805	8,206	59	OK
Story25	86,9	13,963	37,471	2,849	8,261	59	OK
Story24	83,95	13,445	35,969	2,8985	8,316	59	OK
Story23	81	12,918	34,457	2,937	8,3655	59	OK

Story22	78,05	12,384	32,936	2,9865	8,3985	59	OK
Story21	75,1	11,841	31,409	3,0195	8,4315	59	OK
Story20	72,15	11,292	29,876	3,058	8,459	59	OK
Story19	69,2	10,736	28,338	3,091	8,4645	59	OK
Story18	66,25	10,174	26,799	3,124	8,492	59	OK
Story17	63,3	9,606	25,255	3,1185	8,4205	59	OK
Story16	60,35	9,039	23,724	3,1405	8,426	59	OK
Story15	57,4	8,468	22,192	3,1405	8,393	59	OK
Story14	54,45	7,897	20,666	3,146	8,338	59	OK
Story13	51,5	7,325	19,15	3,1295	8,272	59	OK
Story12	48,55	6,756	17,646	3,1185	8,184	59	OK
Story11	45,6	6,189	16,158	3,091	8,0685	59	OK
Story10	42,65	5,627	14,691	3,0525	7,9365	59	OK
Story9	39,7	5,072	13,248	2,9975	7,766	59	OK
Story8	36,75	4,527	11,836	2,937	7,5735	59	OK
Story7	33,8	3,993	10,459	2,838	7,293	59	OK
Story6	30,85	3,477	9,133	2,7555	7,0675	59	OK
Story5	27,9	2,976	7,848	2,6455	6,787	59	OK
Story4	24,95	2,495	6,614	2,519	6,4515	59	OK
Story3	22	2,037	5,441	2,3595	6,061	59	OK
Story2	19,05	1,608	4,339	2,1725	5,6155	59	OK
Story1	16,1	1,213	3,318	1,958	5,104	59	OK
P3	13,15	0,857	2,39	1,7215	4,5815	60	OK
P2	9,45	0,544	1,557	1,419	3,872	60	OK
P1	6,3	0,286	0,853	1,0505	3,047	60	OK
LOBBY	3,15	0,095	0,299	0,5225	1,6445	60	OK

4.4 Perencanaan Struktur Utama Pratekan

4.4.1 Umum

Beton pratekan merupakan komponen struktur yang menggabungkan kekuatan baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi. Penggunaan pratekan ini didasari oleh efisiensi yang mampu diberikan balok pratekan dibandingkan balok beton bertulang biasa. Penggantian balok bertulang biasa dengan balok pratekan mampu menghemat berat tiap lantai sehingga mengurangi beban gempa yang terjadi. Pada akhirnya juga dapat memperkecil struktur rangkanya.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.5, tendon pratekan diperbolehkan menerima 25% momen positif atau negat. Perencanaan beton pratekan pada Apartemen Puncak CBD Wiyung ini direncanakan dengan metode pasca tarik (*post tension*) dan penulangan sendi pada kepala kolom. Metode pasca tarik adalah metode pratekan dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon pratekan diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya pratekan diberikan.

Perencanaan beton pratekan pada balok lantai atap bertujuan agar fungsi lantai 37 dapat digunakan sebagai *ballroom* yang mana membutuhkan ruangan yang luas dan bebas kolom di tengahnya. Jumlah balok pratekan yang didesain adalah 7 buah, dengan panjang bentang bersihnya adalah 13,65 m. sebelum dilakukan perhitungan perencanaan balok pratekan, maka akan ditentukan terlebih dahulu spesifikasi mutu bahan, tahap pembebanan, jenis tendon yang digunakan, tegangan ijin komponen struktur, kehilangan pratekan, serta kontrol struktur yang meliputi kontrol batas layan (*serviceability*), dan penggambaran output.

4.4.2 Data Perencanaan Beton Pratekan

Berikut ini adalah data perencanaan beton pratekan pada *ballroom*:

Panjang bentang total : 13,65 m

Dimensi balok pratekan : 50/70 cm

F_c' : 40 MPa (beton pratekan)

F_c' : 40 MPa (pelat lantai)

d lapangan : 10 cm

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai f_{ci} dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI)

F_{ci} : $0,88 \times 40 = 35,2$ MPa

T_f : 13 cm

Jarak antar balok pratekan (s) : 5 m

4.4.3 Mencari Lebar Efektif

Dalam mencari lebar efektif (b_w), maka didasarkan pada perumusan yang terdapat pada SNI 2847:2013 pasal 8.12.2, dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- Delapan kali tebal pelat
- Setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

Perhitungan lebar efektif ialah sebagai:

$$b_{\text{eff}} = L/4 = 13,65/4 = 3,4125 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = b + (8 \times t_f) = 0,5 + (8 \times 0,12) = 1,46 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,5 \times (L - b) = 0,5 \times (5 - 0,5) = 2,25 \text{ m}$$

Sehingga nilai b_{eff} yang terkecil adalah 1,46 m. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok atau 3,4125 m. Penggunaan lebar efektif di dalam perhitungan beton pratekan hanya digunakan pada saat analisa tegangan yang terjadi pada beton pratekan sendiri, sementara untuk perhitungan beban yang ada lebar yang digunakan ialah sebesar 5 m, sesuai dengan jarak antar balok pratekan yang sesungguhnya.

4.4.4 Penentuan Tegangan Ijin dan Baja Prategang

Tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut:

- a. Tegangan ijin akibat gaya pengangkur tendon $0,94 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,8 f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon pratekan atau perangkat angkur. (SNI 2847:2013 pasal 18.5.1)
- b. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya pratekan $0,70 f_{pu}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.5.1)

Namun berdasarkan T.Y Lin dan Burns perumusan diatas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya pratekan.

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut:

a. Segera setelah peralihan gaya pratekan (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut:

- Tegangan tekan: $0,60 \times f_{ci}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1)
 $\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 = 21,12 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik terluar direncanakan untuk dapat terjadi retak, sehingga diklasifikasikan sebagai kelas T:
 $\sigma_{tr} = f_t > 0,5\sqrt{f_{ci}}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1)
 $\sigma_{tr} = 0,5 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,5 \times \sqrt{35,2} = 2,97 \text{ MPa}$
- Tegangan tekan terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana: $0,70 \times f_{ci}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 b)
 $\sigma_{tk} = 0,7 \times f_{ci} = 0,7 \times 35,2 = 24,64 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana: $(0,5) \times \sqrt{f_{ci}}$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.1 c)
 $\sigma_{tr} = 0,5 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,5 \times \sqrt{35,2} = 2,97 \text{ MPa}$

b. Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan.

- Tegangan tekan (beban tetap): $0,45 \times f'_c$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.2)
 $\sigma_{tk} = 0,45 \times f'_c = 0,45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$
- Tegangan tekan (beban tetap + beban hidup): $0,6 \times f'_c$ (SNI 2847:2013 pasal 18.4.2)
 $\sigma_{tk} = 0,6 \times f'_c = 0,6 \times 40 = 24 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik (SNI 2847:2013 pasal 18.3.3)
 Kelas U $= f_t \leq 0,62\sqrt{f'_c}$
 $= f_t \leq 0,62\sqrt{40}$
 $= f_t \leq 3,92 \text{ MPa}$
 Kelas T $= 0,62\sqrt{f'_c} < f_t \leq \sqrt{f'_c}$
 $= 0,62\sqrt{40} < f_t \leq \sqrt{40}$
 $= 3,92 < f_t \leq 6,32 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 \text{Kelas C} &= f_t > \sqrt{f'_c} \\
 &= f_t > \sqrt{40} \\
 &= f_t > 6,32 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Pada perencanaan ini beton pratekan diijinkan tarik berdasarkan kelas T dengan tegangan ijin tarik sebesar:

$$0,8\sqrt{f'_c} = 5,059 \text{ MPa.}$$

Dimana:

f_{pu} = kuat tarik tendon pratekan yang diisyaratkan, MPa

f_{py} = kuat leleh tendon pratekan yang diisyaratkan, MPa

f'_c = kuat tekan beton saat pemberian pratekan awal, MPa

f'_{ci} = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa.

4.4.5 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan dalam 2 tahapan, yaitu:

▪ Tahap Awal

Tahap dimana struktur diberi gaya pratekan saat struktur kantilever terdiri dari balok pratekan dan balok melintang. Tahap ini terdiri dari:

- Sebelum diberi gaya pratekan
- Pada saat diberi gaya pratekan
- Pada saat peralihan gaya pratekan

▪ Tahap Akhir

Merupakan tahap dimana beban mati tambahan dan beban hidup telah bekerja pada struktur (Lin & Burns, 1996).

4.4.6 Penentuan Gaya Pratekan Balok Lantai Atas

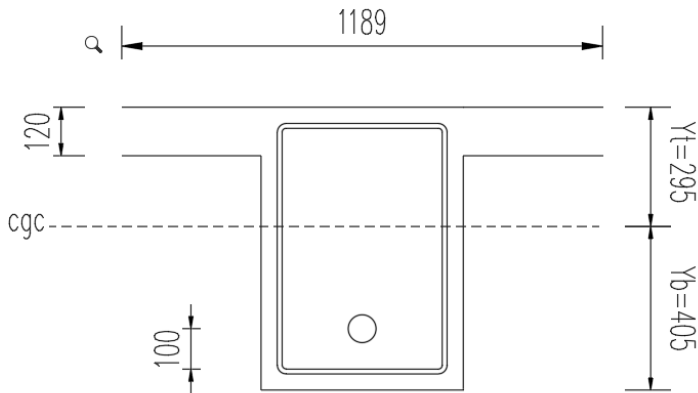
4.4.6.1 Analisa Penampang Global

Penampang balok pratekan menjadi penampang balok T, karena ada pelat lantai. Perhitungan dapat menggunakan perumusan dibawah (SNI 2847:2013 pasal 8.5.1)

$$\begin{aligned}
 E_{\text{balok}} &= \gamma c^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'_c} = 2500^{1,5} \times 0,043\sqrt{40} \\
 &= 33994,4848 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E_{\text{pelat}} = \gamma c^{1,5} \times 0,043\sqrt{f'_c} = 2400^{1,5} \times 0,043\sqrt{30}$$

$$\begin{aligned}
 &= 27691,4658 \text{ MPa} \\
 n &= E_{\text{balok}}/E_{\text{pelat}} = \frac{33994,4848}{27691,4658} = 0,8146 \\
 b_{\text{eff}} &= n \times b_{\text{eff}} = 0,8146 \times 0,146 = 1,189 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 13 Potongan Balok Pratekan Tengah Bentang

Dari **Gambar 4.13** dapat dilihat tebal pelat (tf) adalah 12 cm dengan jarak garis berat terhadap cgc adalah dt dan jarak garis netral balok terhadap yp sebesar dp sedangkan yt adalah garis netral penampang balok pratekan secara keseluruhan dari serat atas pelat. Untuk mendapatkan besarnya yt perlu diketahui luas penampang balok dan pelat secara total.

Luas penampang balok pratekan didapat sebagai berikut:

$$A_{\text{pelat}} = \frac{b \times t_f}{n} = \frac{1,189 \times 12}{1} = 0,1427 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{balok}} = b \times (h - t_f) = 0,5 \times (0,7 - 0,12) = 0,29 \text{ m}^2 +$$

$$A_{\text{tot}} = 0,4327 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Y_b \text{ komposit} &= \frac{A_{\text{pelat}} \cdot Y_{b_{\text{pelat}}} + A_{\text{balok}} \cdot Y_{b_{\text{balok}}}}{A_{\text{pelat}} + A_{\text{balok}}} \\
 &= 0,405 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$Y_t \text{ komposit} = (h_{\text{tot}} - y_{b \text{ komposit}}) = 0,295 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned} I_1 &= 1/12 \times b \text{ balok} \times (h \text{ balok})^3 + A \text{ balok} \times d^2 \\ &= 1/12 \times 0,5 \times 0,58 + 0,29 \times (0,405 - 0,29)^2 \\ &= 0,011994 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= 1/12 \times b \text{ pelat} \times (h \text{ pelat})^3 + A \text{ pelat} \times d^2 \\ &= 1/12 \times 1,189 \times 0,12^3 + 0,1427 \times \left(\frac{0,12}{2} + 0,58 - 0,405 \right)^2 \\ &= 0,0080236 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$I_{\text{komp}} = I_1 + I_2 = 0,020017565 \text{ m}^4$$

$$W_{t \text{ komp}} = \frac{I_{\text{komposit}}}{Y_{t \text{ komposit}}} = 0,06626 \text{ m}^3$$

$$W_{b \text{ komp}} = \frac{I_{\text{komposit}}}{Y_{b \text{ komposit}}} = 0,048 \text{ m}^3$$

Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan Analisa Penampang Global Lantai Atap

$b_{\text{eff}} =$	1,1893	m	$wt_{\text{ komp}} =$	0,0680	m^3
$h_{\text{ pelat}} =$	0,1200	m	$wb_{\text{ komp}} =$	0,0494	m^3
$A_{\text{ pelat}} =$	0,1427	m^2	$kt_{\text{ komp}} =$	0,1141	m
$n =$	1,0		$kb_{\text{ komp}} =$	0,1570	m
$Yb_{\text{ komp}} =$	0,4054	m	$wt_{\text{ blk komp}} =$	0,1147	m^3
$I_1 =$	0,0120	m^4	$e_{\text{lap}} =$	0,3054	m
$I_2 =$	0,0080	m^4	$Atot =$	0,4327	m^2
$I_{\text{ komp}} =$	0,0200	m^4	$Kel =$	3,7786	m
$yt_{\text{ komp}} =$	0,2946	m	$e_{\text{ komp}} =$	0,10	m
$y_{\text{tot}} =$	0,7000	m	$wb =$	0,0280	m^3
$yt_{\text{ blk komp}} =$	0,1746	m	$wt =$	0,0280	m^3
$Kb =$	0,0967	m	$kt =$	0,0967	m

4.4.6.2 Mencari Gaya Prategang Awal (F_o)

Tegangan pada beton yang diijinkan

- **Pada saat transfer**

Tengah bentang:

$$\text{Tarik ijin} = 2,97 \text{ Mpa} = 2966,47 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekan ijin} = -21,12 \text{ Mpa} = -21120 \text{ kN/m}^2$$

Tumpuan :

$$\text{Tarik ijin} = 2,97 \text{ Mpa} = 2966,47 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekan ijin} = -24,64 \text{ Mpa} = -24640 \text{ kN/m}^2$$

- **Pada saat beban layan**

Tengah bentang:

$$\text{Tarik ijin} = 5,059 \text{ Mpa} = 5059,64 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekan ijin} = -18 \text{ Mpa} = -18000 \text{ kN/m}^2$$

Tumpuan:

$$\text{Tarik ijin} = 5,059 \text{ Mpa} = 5059,64 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tekan ijin} = -18 \text{ Mpa} = -18000 \text{ kN/m}^2$$

Eksentrisitas rencana:

- Eksentrisitas pada tengah bentang (e) = $y_b - d' = 0,305 \text{ m}$
- Eksentrisitas pada tumpuan (e) = $-0,1 \text{ m}$

Besar gaya prategang yang dibutuhkan diambil berdasarkan beberapa persamaan, yaitu persamaan pada serat atas dan bawah tengah bentang saat transfer dan saat beban layan.

Kondisi saat transfer gaya prategang (Tengah Bentang)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D

$$\text{Momen tumpuan kiri} = -312,6413 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 291,1934 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen tumpuan kanan} = -306,2764 \text{ kNm}$$

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_{lap}}{W_t}$$

$$2966,479 \geq -\frac{Fo}{0,4327} + \frac{Fo \times 0,3054}{0,0680} - \frac{291,1934}{0,0680}$$

$$Fo = 3320,903 \text{ kN}$$

- Serat bawah:

$$\sigma_b \leq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times e}{Wb} + \frac{M_{lap}}{Wb}$$

$$-21120 \leq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times 0,3054}{0,0494} + \frac{291,1934}{0,0494}$$

$$Fo = 3179,595 \text{ kN}$$

Kondisi saat transfer gaya prategang (Tumpuan)

- Serat atas:

$$\sigma_t \leq -\frac{Fo}{A} + \frac{Fo \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt}$$

$$-24640 \leq -\frac{Fo}{0,4327} + \frac{Fo \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-312,6413)}{0,068}$$

$$Fo = 7730,46 \text{ kN}$$

- Serat bawah:

$$\sigma_b \geq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$2966,479 \geq -\frac{Fo}{0,4327} - \frac{Fo \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-312,6413)}{0,0494}$$

$$Fo = -32559,517 \text{ kN}$$

Kondisi saat beban layan (Tengah Bentang)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D+1L

Momen tumpuan kiri = -373,7993 kNm

Momen lapangan = 354,7398 kNm

Momen tumpuan kanan = -364,9683 kNm

- Serat atas:

$$\sigma_t \leq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{Wt} - \frac{M_{lap}}{Wt}$$

$$-18000 \leq -\frac{Fe}{0,4327} + \frac{Fe \times 0,3054}{0,068} - \frac{354,798}{0,068}$$

Fe = -5852,6968 kN (asumsi kehilangan prategang 20%)

Fo = -7315,871 kN

- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \geq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{lapangan}}{Wb}$$

$$5059,644 \geq -\frac{Fe}{0,4327} - \frac{Fe \times 0,3054}{0,0494} + \frac{354,798}{0,0494}$$

Fe = 250,109 kN (asumsi kehilangan prategang 20%)

Fo = 312,636 kN

Kondisi saat beban layan (Tumpuan)

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt}$$

$$5059,644 \geq -\frac{Fe}{0,4327} + \frac{Fe \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-373,7993)}{0,068}$$

Fe = 116,572 kN (asumsi kehilangan prategang 20%)

Fo = 145,715 kN

- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$-18000 \leq -\frac{Fe}{0,4327} - \frac{Fe \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-373,7993)}{0,0494}$$

Fe = 36517,567 kN (asumsi kehilangan prategang 20%)

Fo = 45646,959 kN

4.4.6.3 Kontrol Gaya Prategang

Kontrol dilakukan dengan memasukkan satu persatu Fo dan F pada semua kondisi, maka Fo yang membuat tegangan yang

terjadi tidak melebihi tegangan ijinnya baik tarik maupun tekan adalah $F_o = 1840$ kN. $F_e = 1472$ kN (asumsi kehilangan prategang 20%)

Kondisi saat transfer gaya prategang (Tengah Bentang)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_{lap}}{W_t}$$

$$2966,479 \geq -\frac{1840}{0,4327} + \frac{1840 \times 0,3054}{0,0680} - \frac{291,1934}{0,0680}$$

$$2966,479 \geq -267,203 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

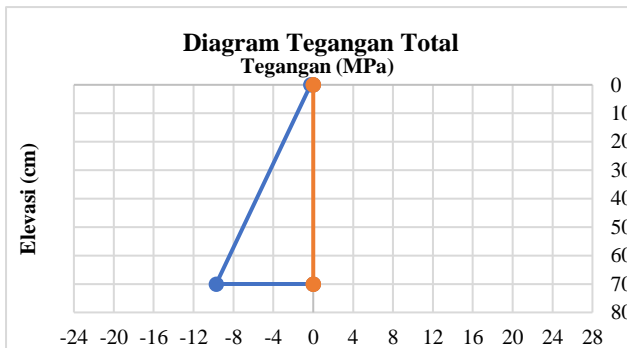
- Serat bawah:

$$\sigma_b \leq -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_b} + \frac{M_{lap}}{W_b}$$

$$-21120 \leq -\frac{1840}{A} - \frac{1840 \times 0,3054}{0,0494} + \frac{291,1934}{0,0494}$$

$$-21120 \leq -9737,123 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.14**):



Gambar 4. 14 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Transfer

Kondisi saat transfer gaya prategang (Tumpuan)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D

- Serat atas:

$$\sigma_t \leq -\frac{Fo}{A} + \frac{Fo \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t}$$

$$-24640 \leq -\frac{1840}{0,4327} + \frac{1840 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-312,6413)}{0,068}$$

$$-24640 \leq -2359,2155 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

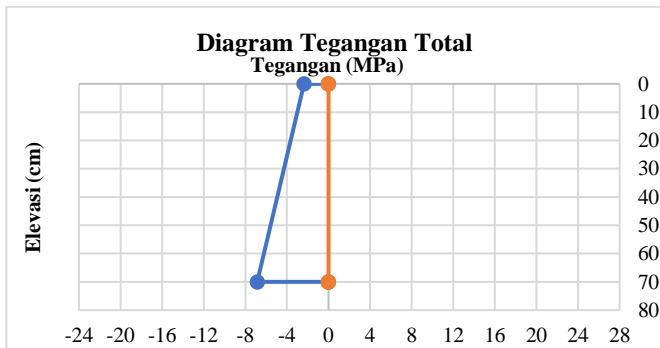
- Serat bawah:

$$\sigma_b \geq -\frac{Fo}{A} - \frac{Fo \times e}{W_b} + \frac{M_{tumpuan}}{W_b}$$

$$2966,479 \geq -\frac{Fo}{0,4327} - \frac{Fo \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-312,6413)}{0,0494}$$

$$2966,479 \geq -6857,71 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.15**):



Gambar 4.15 Diagram Tegangan Total Tumpuan Saat Transfer

Kondisi saat beban layan (Tengah Bentang)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D+1L

- Serat atas:

$$\sigma_t \leq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{W_t} - \frac{M_{lap}}{W_t}$$

$$-18000 \leq -\frac{1472}{0,4327} + \frac{1472 \times 0,3054}{0,068} - \frac{354,798}{0,068}$$

$$-18000 \leq -2005,87 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

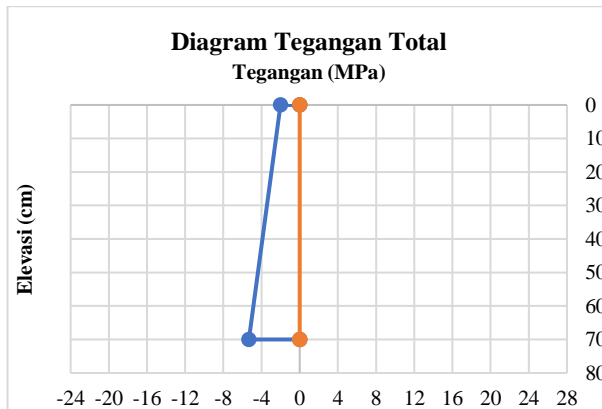
- Serat bawah:

$$\sigma_b \geq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{W_b} + \frac{M_{lapangan}}{W_b}$$

$$5059,644 \geq -\frac{1472}{0,4327} - \frac{1472 \times 0,3054}{0,0494} + \frac{354,798}{0,0494}$$

$$5059,644 \geq -5323,069 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.16**):



Gambar 4. 16 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Layan

Kondisi saat beban layan (Tumpuan)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D+1L

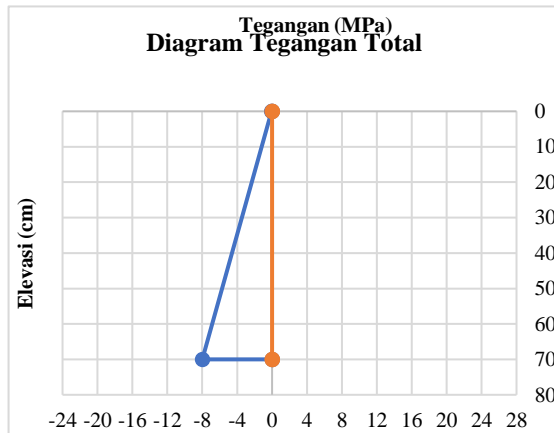
- Serat atas:

$$\begin{aligned}\sigma_t &\geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t} \\ 5059,644 &\geq -\frac{1472}{0,4327} + \frac{1472 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-373,7993)}{0,068} \\ 5059,644 &\geq -67,288 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\begin{aligned}\sigma_b &\leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{W_b} + \frac{M_{tumpuan}}{W_b} \\ -18000 &\leq -\frac{1472}{0,4327} - \frac{1472 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-373,7993)}{0,0494} \\ -18000 &\leq -7991,304 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (**Gambar 4.17**):



Gambar 4. 17 Diagram Tegangan Total Tumpuan saat Beban Layan

4.4.6.4 Penentuan Tendon yang Digunakan

Dipakai tipe baja prategang dengan nilai $f_{pu} = 1860$ (*strand stress-relieved*).

$$F_{p_{\max}} = 0,75 \times 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

Luas tendon yang diperlukan adalah:

$$A_{\text{perlu}} = \frac{F_o}{F_{p_{\max}}} = \frac{1840}{1395} = 1318996 \text{ mm}^2$$

Tendon baja yang digunakan ialah spesifikasi dari *multistrand post-tensioning*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tendon unit	: 5-12
Jumlah strand	: 12
Minimum breaking load	: 2210kN
Diameter strand	: 12,7 mm
Jumlah tendon	: 1

Luas tendon yang digunakan

$$A_{\text{pakai}} = \frac{1}{4} \pi d^2 n = \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 \times 12 = 1520,734 \text{ mm}^2$$

Maka spesifikasi tendon yang digunakan terpenuhi, karena

$$A_{\text{pakai}} > A_{\text{perlu}}$$

$$1520,734 \text{ mm}^2 > 3584,23 \text{ mm}^2$$

Nilai tegangan pakai:

$$f_{\text{pakai}} = \frac{F_o}{A_{\text{pakai}}} = \frac{1840000}{1520,734} = 1209,942 \text{ MPa}$$

4.4.6.5 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat stressing. Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Kehilangan Segera (kehilangan langsung)

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan. Kehilangan secara langsung terdiri dari:

- a. Kehilangan akibat slip angker (SNI 2847:2013 Pasal 18.6.1.a)

Kehilangan akibat pengangkuran/slip angkur terjadi saat tendon baja dilepas setelah mengalami penarikan dan gaya pratekan dialihkan ke angkur.

Rumus perhitungan kehilangan pratekan akibat pengangkuran adalah sebagai berikut:

$$x = \sqrt{\frac{E_s}{f_{pakai} \times \left(\mu \frac{a}{L} + K \right)}}$$

Cek apakah kehilangan pratekan akibat pengangkuran berpengaruh sampai ke tengah bentang:

$E_s = 200000 \text{ MPa}$

$g = 2,5 \text{ mm}$

$f_{pakai} = 1209,942 \text{ Mpa}$

$\mu = 0,15 \text{ (wire strand tendon)}$

$K = 0,016 \text{ (wire strand tendon)}$

$f \text{ (focus)} = 405,435 \text{ mm}$

$\alpha = \text{sudut kelengkungan tendon } \left(\frac{8f}{L} \right) = 0,237$

$L = 13,65 \text{ m}$

Maka x:

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\frac{200000}{1209,942 \times \left(0,15 \cdot \frac{0,237}{13650} + 0,016 \right)}} \\ &= 507,795 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai dari $x = 507,795 \text{ mm} = 0,507795 \text{ m}$. Dengan hasil perhitungan pengaruh pengangkuran sampai ke tumpuan kantilever $x < 6,825 \text{ m}$, maka kehilangan akibat pengangkuran tidak mempengaruhi.

- b. Kehilangan akibat perpindahan elastis (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.b)

Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya pratekan akibat perpindahan elastis tidak mempengaruhi.

- c. Kehilangan akibat gesekan (Wobble Effect) (SNI 2847:2013 pasal 18.6.2)

Perhitungan kehilangan pratekan diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja pratekan saat proses pemberian gaya pratekan. Kehilangan pratekan akibat gesekan (wobble effect) dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$F_{pf} = F \times (e^{-\mu\alpha KL})$$

Dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\mu = 0,15 \text{ (wire strand tendon)}$$

$$K = 0,016 \text{ (wire strand tendon)}$$

$$\alpha = \text{sudut kelengkungan tendon } \left(\frac{8f}{L}\right) = 0,237$$

$$L = 13,65 \text{ m}$$

$$e = 2,7183 \text{ (bilangan natural)}$$

Maka F_{pf} :

$$\begin{aligned} F_{pf} &= 1840 \times (2,7183^{-0,15 \times 0,2347 - 0,016 \times 13,65}) \\ &= 1737,214 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta F_{pf} &= 1840 - F_{pf} \\ &= 1840 - 1737,214 = 102,785 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Delta f_{pf} = \frac{102,7855}{1520,734} = 67,589 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan ialah:

$$\Delta f_{pf} = \frac{67,589}{1209,9418} = \mathbf{5,586 \%}$$

d. Kehilangan akibat kekangan kolom

Konstruksi beton pratekan dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya pratekan yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok pratekan maka semakin besar gaya pratekan yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking. Hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi. Sebaliknya jika kolom didesain tidak kaku maka gaya pratekan yang hilang semakin kecil serta momen yang diterima kolom juga berkurang.

Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya pratekan akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut:

$$\Delta p = \frac{Mb - Ma}{h}$$

Dari hasil perhitungan ETABS, diperoleh nilai maksimum nilai momen ialah sebagai berikut:

- Momen akibat stressing balok pratekan lantai atap

$$MA = -3485,01 \text{ kgm}$$

$$MB = 4440,97 \text{ kg.m}$$

Dari momen tersebut, diperoleh besar kehilangan prategang sebagai berikut:

- Kehilangan prategang akibat stressing balok prategang lantai 14 (kolom lantai atas belum dicor):

$$\Delta p = \frac{4440,97 - (-3485,01)}{3,4} \times 10 = 2811,647 \text{ N}$$

$$\Delta f_p = \frac{2811,647}{1520,734} = 1,8488 \text{ MPa}$$

- Persentase kehilangan:

$$\Delta f_p = \frac{1,8488}{1209,9418} = \mathbf{0,1528 \%}$$

2. Kehilangan yang tergantung oleh waktu (kehilangan tidak langsung)

Hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya pratekan), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

- a. Kehilangan akibat rangkai (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.c)

Rumus perhitungan kehilangan pratekan akibat rangkai:

$$CR = K_{cr} \times (E_s/E_c) \times [f_{c,ir} - f_{c,ds}]$$

Dimana:

K_{cr} = 2 untuk metode pra-tarik

= 1,6 untuk metode pasca-tarik

$f_{c,ds}$ = tegangan beton didaerah c.g.s akibat seluruh beban mati pada struktur setelah diberi gaya prategang

$f_{c,ir}$ = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal prategang

$$f_{c,ir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times e}{I} - \frac{M \times e}{I} = 8,384 \text{ MPa}$$

$$f_{c,ds} = \frac{M \times e}{I} = 4,443 \text{ MPa}$$

$$E_s/E_c = \frac{200000}{29725,41} = 6,7283 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} CR &= K_{cr} \times (E_s/E_c) \times [f_{c,ir} - f_{c,ds}] \\ &= 1,6 \times (6,7283) \times (8,384 - 4,4423) \\ &= 42,427 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Persentase kehilangan prategang akibat rangkai:

$$\Delta f_{cr} = \frac{42,427}{1209,9418} = \mathbf{3,50655 \%}$$

- b. Kehilangan akibat susut (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.d)

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat susut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times (1 - 0,0236 V/S) \times (100 - RH)$$

Koef 0.0236, karena perbandingan v/s dalam cm

RH = 70% (untuk kota Surabaya)

$K_{sh} = 0,77$ (7 hari)

$$\begin{aligned} \frac{V}{S} &= \frac{\text{luas penampang beton}}{\text{keliling penampang beton}} \\ &= \frac{0,4327 \times 10000}{3,7786 \times 100} \end{aligned}$$

$$= 11,4517 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 200000 \times (1 - 0,0236 \times 11,4517) \times \\ &\quad (100 - 70) \\ &= 0,27645 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\Delta f_{sh} = \frac{0,2764}{1209,9418} = \mathbf{0,0228 \%}$$

- c. Kehilangan akibat relaksasi baja (SNI 2847:2013 pasal 18.6.1.e)

Rumus perhitungan kehilangan pratekan akibat relaksasi baja.

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)]C$$

Perumusan yang digunakan ini ialah perumusan yang digunakan oleh komisi PCI untuk menyelesaikan serangkaian permasalahan akibat relaksasi baja

$$K_{re} = 20000 \text{ psi} = 138 \text{ MPa}$$

$$J = 0,15$$

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = \frac{1209,9418}{1860} = 0,6505$$

$$C = 0,95$$

$$RE = (138 - 0,15 \times (0,27645 + 42,427)) \times 0,95 \\ = 118,4349 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan prategang akibat relaksasi baja ialah:

$$\Delta fre = \frac{118,4349}{1209,9418} = \mathbf{9,788 \%}$$

Tabel 4. 29 Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan Gaya Prategang	Akibat	Presentase kehilangan (%)
Langsung	Slip anker	Tidak mempengaruhi
	Perpendekan elastis	Tidak mempengaruhi
	Wobble effect	5,586
	Kekekangan Kolom	0,1528
Tidak Langsung (Waktu)	Rangkak	3,507
	Susut	0,0288
	Relaksasi Baja	9,788
Total kehilangan gaya prategang		19,0568 %

4.4.6.6 Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan

$$Fe = \frac{100 - 19,0568}{100} \times 1840 = 1489,3575 \text{ kN}$$

a. Kontrol akibat beban layan

Kontrol saat beban layan (Tengah Bentang)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D + 1L

Momen tumpuan kiri = -373,7993 kNm

Momen lapangan = 354,7398 kNm

Momen tumpuan kanan = -364,9683 kNm

▪ Serat atas:

$$\sigma_t \leq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{W_t} - \frac{M_{lap}}{W_t}$$

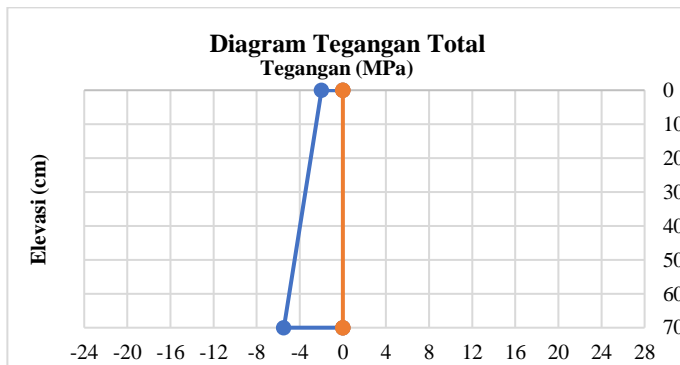
$$-18000 \leq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times 0,3054}{0,068} - \frac{354,798}{0,068}$$

$$-18000 \leq -1967,977 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

- Serat bawah:

$$\begin{aligned} \sigma_b &\geq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{lapangan}}{Wb} \\ 5059,644 &\geq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times 0,3054}{0,0494} + \frac{354,798}{0,0494} \\ 5059,644 &\geq -5470,527 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.18):



Gambar 4. 18 Diagram Tegangan Total Tengah Bentang Saat Layan Setelah Kehilangan Prategang Asli

Kontrol saat beban layan (Tumpuan)

Ada output dari ETABS dengan kombinasi 1D + 1L

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt}$$

$$5059,644 \geq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-373,7993)}{0,068}$$

$$5059,644 \geq -132,929 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

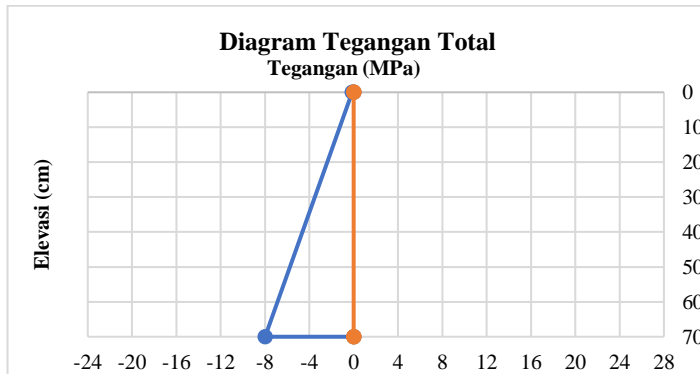
- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$-18000 \leq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-373,7993)}{0,0494}$$

$$-18000 \leq -7996,260 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.19):



Gambar 4. 19 Diagram Tegangan Total Tumpuan Saat Layan Setelah Kehilangan Prategang Asli

b. Kontrol terhadap SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.5

Prategang rata-rata, f_{pc} , yang dihitung untuk luas yang sama dengan dimensi penampang komponen struktur terkecil

yang dikalikan dengan dimensi penampang tegak lurus tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari **3,5 MPa dan $f'_c/10$** .

Dimana:

$$\frac{f'_c}{10} = \frac{40}{4} = 4 \text{ MPa dan } 3,5 \text{ MPa, maka diambil nilai } 3,5 \text{ MPa}$$

$$F_{pc} = \frac{Fe}{A} = \frac{1489,3575}{0,427} = 3,442 \text{ MPa} < 3,5 \text{ MPa (OK)}$$

c. Kontrol gaya prategang akibat gempa

Ketika terjadi gempa dan beban hidup maksimum output dari ETABS dengan kombinasi 1D+1L+ Gempa X

Momen tumpuan (kiri) = -364,0751 kNm

Momen tumpuan (kanan) = -355,2463 kNm

Momen tumpuan kiri

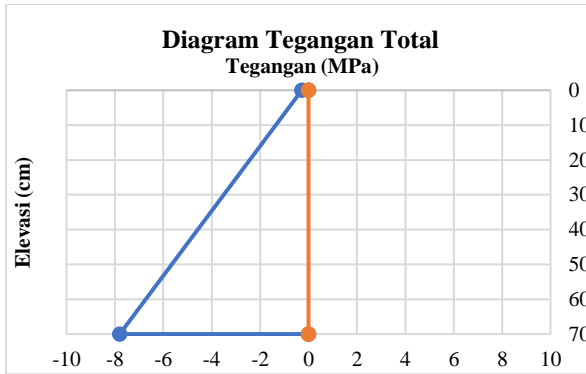
- Serat atas:

$$\begin{aligned}\sigma_t &\geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t} \\ 5059,644 &\geq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-364,0751)}{0,068} \\ 5059,644 &\geq -276,023 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\begin{aligned}\sigma_b &\leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{W_b} + \frac{M_{tumpuan}}{W_b} \\ -18000 &\leq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-364,0751)}{0,0494} \\ -18000 &\leq -7799,307 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.20):



Gambar 4. 20 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kiri Akibat Gempa Dengan Beban Hidup Maksimum

Momen tumpuan kanan

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt}$$

$$5059,644 \geq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-355,2463)}{0,068}$$

$$5059,644 \geq -405,942 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

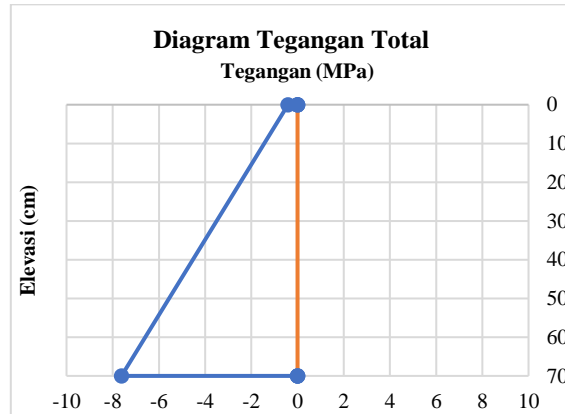
- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$-18000 \leq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-355,2463)}{0,0494}$$

$$-18000 \leq -7620,488 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.21):



Gambar 4. 21 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kanan Akibat Gempa Dengan Beban Hidup Maksimum

Ketika terjadi gempa dan beban hidup 50% output dari ETABS dengan kombinasi 1D+0.5L+ Ex

Momen tumpuan (kiri) = -333,4962 kNm

Momen tumpuan (kanan) = -325,8994 kNm

Momen tumpuan kiri

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t}$$

$$5059,644 \geq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-333,4962)}{0,068}$$

$$5059,644 \geq -726,002 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

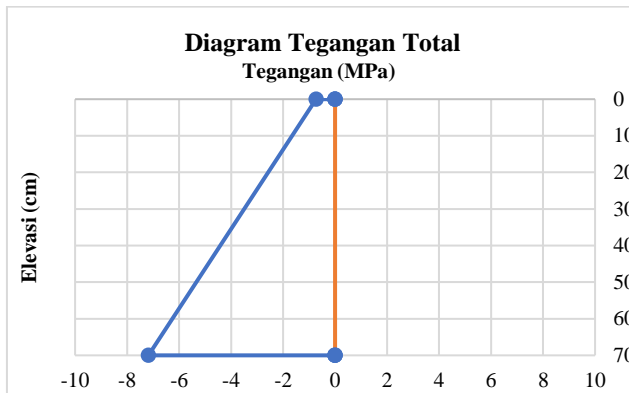
- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$-18000 \leq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-333,4962)}{0,0494}$$

$$-18000 \leq -7179,963 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.22):



Gambar 4. 22 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kiri Akibat Gempa Dengan Beban Hidup 50%

Momen tumpuan kanan

- Serat atas:

$$\sigma_t \geq -\frac{Fe}{A} + \frac{Fe \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt}$$

$$5059,644 \geq -\frac{1489,3575}{0,4327} + \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,068} - \frac{(-325,8994)}{0,068}$$

$$5059,644 \geq -837,792 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

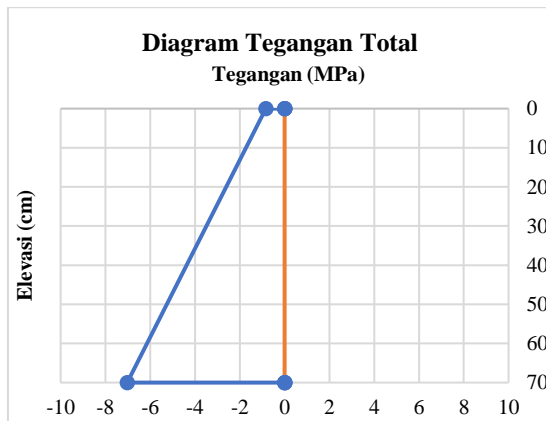
- Serat bawah: (asumsi kelas T)

$$\sigma_b \leq -\frac{Fe}{A} - \frac{Fe \times e}{Wb} + \frac{M_{tumpuan}}{Wb}$$

$$-18000 \leq -\frac{1489,3575}{0,4327} - \frac{1489,3575 \times (-0,1)}{0,0494} + \frac{(-325,8994)}{0,0494}$$

$$-18000 \leq -7026,098 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan diagram tegangan yang dihasilkan (Gambar 4.23):



Gambar 4. 23 Diagram Tegangan Total Tumpuan Kanan Akibat Gempa Dengan Beban Hidup 50%

Kontrol lentur yang dilakukan terhadap beton pratekan sudah memenuhi syarat, baik saat sebelum atau sesudah kehilangan pratekan dengan F_o sebesar 1840 kN.

4.4.6.7 Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton pratekan memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk

memenuhi batas layan yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 tabel 9.5.b.

$$f_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{13650}{480} = 28,4375 \text{ mm}$$

a. Lendutan saat jacking

1. Lendutan akibat tekanan tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan keatas (cambre).

$$\begin{aligned} p' &= 8 \times F_o \times f / L^2 \\ &= 8 \times 1840000 \times 405,4248 / (13650)^2 \\ &= 32,030492 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta p' &= 5/384 \times (p' \times l^4 / (E_c \times I)) \\ &= 5/384 \times (32,0305 \times (13650)^4 / (33994,485 \times 0,02 \times 10^{12})) \\ &= 21,277 \text{ mm (keatas)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M (-) &= F_o \times e_o \\ &= 1840000 \times (-100) \\ &= -1,84 \times 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta M (-) &= M \times L^2 / (8 \times E_c \times I) \\ &= -1 \times 10^9 \times 13650^2 / (8 \times 33994,485 \times 0,02 \times 10^{12}) \\ &= -6,297 \text{ mm (kebawah)} \end{aligned}$$

Total lendutan akibat tendon sebesar:

$$21,277 \text{ mm} + (-6,297) \text{ mm} = 14,979 \text{ mm (keatas)}$$

2. Lendutan akibat beban sendiri

$$\Delta g = 5/384 \times (g \times L^4 / (E_c \times I))$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5}{384} \times \frac{(2400 \times 0,58 \times 0,5 \times 0,01) \times 13650^4}{33994,48 \times 0,02 \times 10^{12}} \\
&= -4,6233 \text{ mm (kebawah)} \\
\Delta \text{ total} &= 14,979 + (-4,6233) = 10,356 < 28,4375 \text{ mm (OK)}
\end{aligned}$$

b. Lendutan setelah Fo menjadi Fe

1. Lendutan akibat tekanan tendon

$$\begin{aligned}
\Delta &= \frac{Fe}{Fo} \times \Delta p' + \frac{Fe}{Fo} \times \Delta g \\
&= \frac{1489,3575}{1840} \times 21,277 + \frac{1489,3575}{1840} \times -6,2975 \\
&= 12,1249 \text{ mm (keatas)}
\end{aligned}$$

2. Lendutan akibat beban sendiri

$$\begin{aligned}
\Delta &= -17,075 - 4,6233 \\
&= -21,698 \text{ mm (kebawah)}
\end{aligned}$$

$$\Delta \text{ total} = 12,1249 + (-21,698) = -9,573 \text{ mm (ke bawah)}$$

$$\Delta \text{ total (pengaruh rangkai)}$$

$$= -9,5734 \text{ mm} \times 1,8$$

$$= -17,232 \text{ mm (ke bawah)}$$

$$\text{Lendutan total} = 17,232 \text{ mm} < 28,4375 \text{ mm (OK)}$$

4.4.6.8 Perencanaan Kebutuhan Tulangan Lunak

Menurut SNI 2847:2013, pasal. 21.5.2.5, baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negatif di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur pada atau melewati muka eksterior joint.

a. Momen Nominal Tendon Prategang pada Tumpuan

$$A_{ps} = 1520,734 \text{ mm}^2$$

$$d = 510 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{fc - 28}{7} \times 0,05 \right)$$

$$= 0,764$$

$$\gamma_p = 0,55$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \right)$$

Untuk sebarang tulangan tekan yang dihitung, maka:

$$\left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \text{ dapat diambil tidak kurang dari } 0,17.$$

$$\text{Diambil } \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) = 0,17$$

$$F_{ps} = 1860 \left(1 - \frac{0,55}{0,764} \times 0,17 \right) = 1632,454206 \text{ MPa}$$

$$F_c = 40 \text{ MPa}$$

$$T = A_{ps} \times f_{ps}$$

$$= 1520,734 \times 1632,454206$$

$$= 2482529,08 \text{ N}$$

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1520,734 \times 1632,454}{0,85 \times 40 \times 500}$$

$$= 146,031 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$= 2482529,08 \times (510 - 146,031 / 2)$$

$$= 1084,8265 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 1084,8265$$

$$= 976,344 \text{ kN.m}$$

$$25\% \cdot \phi M_n = 0,25 \times 976,344$$

$$= 244,086 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mu akibat gempa maks} = 364,0751 \text{ kN.m}$$

Sehingga momen yang harus ditanggung tulangan lunak

$\text{Mu} - 25\% \cdot \phi M_n = 364,0751 - 244,086 = 119,989 \text{ kN.m}$. Jadi momen yang digunakan untuk perhitungan tulangan lunak adalah 119,989 kN.m

b. Data-data Perencanaan Kebutuhan Tulangan Lunak

$$\text{Mu} : 119,989 \text{ kN.m}$$

$$\text{Mutu beton} : 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja} : 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Dimensi balok} : 50/70 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang balok} : 13,65 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal (D)} : 22 \text{ mm}$$

Diameter tulangan sengkang (D) : 12 mm

Selimit beton : 40 mm

$$d = 700 - 40 - 12 - 22/2 = 637 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(40 - 28)}{7} = 0,764\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,038978\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0389 = 0,0292 \text{ } (\rho_{\max} \text{ pakai})$$

$$\rho_{\max} = 0,0292$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{40}}{400} = 0,003952 \text{ } (\rho_{\min} \text{ pakai})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{119.989.120,2}{0,9 \times 500 \times 637^2} = 0,657$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,657}{400}} \right) = 0,001659\end{aligned}$$

Maka pakai $\rho_{\min} = 0,003952$ (karena $\rho_{\min} > \rho$)

- Menentukan jumlah tulangan tumpuan atas

$$A_{\text{spertu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,003952 \times 500 \times 637 \\
 &= 1258,98 \text{ mm}^2 \\
 \text{As D22} &= 380,3875 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ (jlh)} &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{1258,98179}{380,3857} = 4 \text{ buah} \\
 \text{Dipakai 4D22 (As}_{\text{pasang}} &= 1521,143 \text{ mm}^2)
 \end{aligned}$$

- Menentukan jumlah tulangan tumpuan bawah

$$\begin{aligned}
 \text{As}_{\text{perlu}} &= \frac{1}{2} \cdot p \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,003952 \times 500 \times 637 \\
 &= 629,49 \text{ mm}^2 \\
 \text{As D22} &= 380,3875 \text{ mm}^2 \\
 n \text{ (jlh)} &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{629,491}{380,3857} = 2 \text{ buah} \\
 \text{Dipakai 2D22 (As}_{\text{pasang}} &= 760,5714 \text{ mm}^2)
 \end{aligned}$$

4.4.6.9 Penulangan Geser

Perhitungan penulangan geser berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.3.2. Gaya geser rencana didapat dengan menggunakan program bantu ETABS, yaitu sebagai berikut:

$$V_u = 26313,1 \text{ kg}$$

$$M_u = 43671,42 \text{ kg.m}$$

$$V_c = (0,05\lambda\sqrt{F_c} + 4,8 \frac{V_u \cdot d_p}{M_u}) b_w \times d$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$d_p = h/2 + e = 700/2 + 100 = 450 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

$$d = 637 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= (0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} + 4,8 \frac{26313 \times 0,45}{43671,42}) 500 \times 637 \\
 &= 515231,2906 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c \min &= 0,17 \times \lambda \sqrt{F_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 500 \times 637 \\
 &= 342443,0478 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c \max &= 0,42 \cdot \lambda \sqrt{F_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,42 \times 1 \times \sqrt{40} \times 500 \times 637 \\
 &= 846035,7652 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c \text{ pakai} &= V_c \max \quad (V_c > V_c \max) \\
 &= 846035,7652 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena:

- $0,5 \phi V_c \geq V_u$
 $0,5 \times 0,75 \times 846035,7652 \geq 263131 \text{ N}$
 $317263,412 \geq 263131 \text{ N}$
- $\phi V_c \geq V_u$
 $0,75 \cdot 2667336,934 \geq 263131 \text{ N}$
 $634526,8239 \text{ N} \geq 263131 \text{ N}$

(rencanakan tulangan geser minimum)

$$A_{v \min} = 0,062 \sqrt{f_c} \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$S \text{ rencana} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v \min} &= 0,062 \sqrt{f_c} \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \\
 &= 130,707477 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai 2D13 } (A_v = 132,786 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Jadi tulangan geser pakai} = 2\text{D13-200}$$

4.4.6.10 Penulangan Torsi

Perencanaan torsi didasarkan dari SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1. yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor T_u memenuhi syarat sebagai berikut:

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f_c}}}$$

A_{cp}	= Luas penampang keseluruhan
P_{cp}	= Keliling penampang keseluruhan
λ	= 1 (beton) SNI 2847:2013 pasal 8.6.1
ϕ	= 0,75 (faktor reduksi beban torsi)
F_{pc}	= 3,4418 MPa

Kontrol kebutuhan torsi:

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h = 500 \times 700 = 350000 \text{ mm}^2 \\ P_{cp} &= 2(b+h) = 2 \times (500 + 700) = 2400 \text{ mm} \\ T_u &= 84304100 \text{ N.mm} \\ T_u &< \end{aligned}$$

$$0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{40} \left(\frac{350000^2}{2400} \right) \sqrt{1 + \frac{3,4419}{0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}}} \\ 84304100 \text{ N.mm} < 131.223.270 \text{ N.mm (OK)}$$

Persyaratan diatas terpenuhi, maka balok prategang **tidak memerlukan** tulangan torsi.

4.4.6.10 Pengangkuran Ujung

Balok pratekan pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global di isyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 18.13.4.2. Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencar, pengelupasan dan gaya tarik tepi longitudinal yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai pasal 18.13.3.2

Dalam studi ini digunakan angkur hidup. Hal ini dikarenakan metode pemberian gaya pratekan dengan sistem pasca tarik. Penulangan pengekanan di seluruh pengangkuran harus sedemikian rupa hingga mencegah pembelahan dan bursting yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan melalui alat angkur. Metode perhitungan perencanaan daerah

pengukuran global sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 18.13.3.2.

$$P_u = 1,2 \times P$$

$$P = 1840 \text{ KN} = 1840000 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 \times 1840000 = 2208000 \text{ N}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \times P_u \left(1 - \frac{a}{h}\right)$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 (h - 2e)$$

Dimana:

P_u = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

a = Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e = Eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang

h = Tinggi Penampang pada arah yang ditinjau

Diperoleh:

$$a = 210 \text{ mm (angkur strand 5-12, VSL tabel)}$$

$$e = 100 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

Maka:

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \times 2208000 \left(1 - \frac{210}{700}\right) = 382.457,14 \text{ N}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 (700 - 2 \times 100) = 250 \text{ mm}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{382457,14}{400} = 956,14 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 2D12 ($A_v = 226,286 \text{ mm}^2$), maka kebutuhan tulangan ialah sebanyak

$$n = \frac{956,14}{226,286} = 5 \text{ buah}$$

Spasi antar sengkang dihitung dengan cara sebagai berikut

$$S = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{250}{5} = 50 \text{ mm}$$

Tabel 4. 30 Rekapitulasi Balok Pratekan

Panjang (m)	Balok Prategang	Dimensi (cm)	Tebal Pelat (cm)	Fo (kN)	Kehilangan prategang (%)	Fe (kN)
13,65	Lantai 14	50/70	13	1840	19,057	1489,35

Fpc (Mpa)	Lendutan (mm)		Tulangan lunak tumpuan		Tulangan geser	Tulangan torsi
	Saat Jacking	Setelah Fo menjadi Fe	Lentur	Susut	D12-100	
3,441	10,356	-17,232	4D22	4D22		-

Momen Nominal Tumpuan (kN.m)			Mu Tumpuan	Momen Nominal Lapangan (kN.m)	Mu lapangan (kN.m)
Tendon	Lunak	Total		Tendon	
244,085	301,358	545,444	436,714	1271,98	345,771

4.4.6.11 Perencanaan Sambungan Pelat dengan Balok Pratekan

a. Perencanaan Tulangan Geser pada Sambungan Pelat

Pelat samping kiri

P1 : $500 \times 442,5 \text{ cm}$

P2 : $500 \times 480 \text{ cm}$

Pelat samping kanan

P3 : $500 \times 442,5 \text{ cm}$

P4 : $500 \times 480 \text{ cm}$

Berat kombinasi pelat : $1,2 \text{ qDT} + 1,6 \text{ qLT}$

: 648 kg/m^2

$$q_1 = 648 \times b = 648 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 648 \text{ kg/m}$$

$$q_2 = 648 \times b = 648 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 648 \text{ kg/m}$$

$$q_3 = 648 \times b = 648 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 648 \text{ kg/m}$$

$$q_4 = 648 \times b = 648 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 648 \text{ kg/m}$$

$$P1 = VA = VB = 648 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} = 1620 \text{ kg}$$

$$P2 = VA = VB = 648 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} = 1620 \text{ kg}$$

$$P3 = VA = VB = 648 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} = 1620 \text{ kg}$$

$$P4 = VA = VB = 648 \text{ kg/m} \times 5 \text{ m} = 1620 \text{ kg}$$

b. Gaya geser pada sambungan pelat

$$\text{Beff} = 1,189 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} \text{ beff} = 0,595 \text{ m}$$

$$Vu_1 = VA - (q \times \frac{1}{2} \text{ beff})$$

$$= 1620 \text{ kg} - (648 \times 0,595)$$

$$= 1234,668 \text{ kg} = 12346,678 \text{ N}$$

$$Vu_2 = VA - (q \times \frac{1}{2} \text{ beff})$$

$$= 1620 \text{ kg} - (648 \times 0,595)$$

$$= 1234,668 \text{ kg} = 12346,678 \text{ N}$$

$$Vu_3 = VA - (q \times \frac{1}{2} \text{ beff})$$

$$= 1620 \text{ kg} - (648 \times 0,595)$$

$$= 1234,668 \text{ kg} = 12346,678 \text{ N}$$

$$Vu_4 = VA - (q \times \frac{1}{2} \text{ beff})$$

$$= 1620 \text{ kg} - (648 \times 0,595)$$

$$= 1234,668 \text{ kg} = 12346,678 \text{ N}$$

c. Perencanaan Gaya Geser

$$f_c' = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$b_w = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 92 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 1000 \times 92 \\
 &= 98916,045 \text{ N} \\
 V_s &= \frac{(Vu - \phi V_c)}{\phi} \\
 V_{s1} &= \frac{(12346,678 - 0,75 \times 89816,045)}{0,75} \\
 &= -82453,81 \text{ N (tidak memerlukan tulangan geser)} \\
 V_{s2} &= \frac{(12346,678 - 0,75 \times 89816,045)}{0,75} \\
 &= -82453,81 \text{ N (tidak memerlukan tulangan geser)} \\
 V_{s3} &= \frac{(12346,678 - 0,75 \times 89816,045)}{0,75} \\
 &= -82453,81 \text{ N (tidak memerlukan tulangan geser)} \\
 V_{s4} &= \frac{(12346,678 - 0,75 \times 89816,045)}{0,75} \\
 &= -82453,81 \text{ N (tidak memerlukan tulangan geser)}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan tulangan geser minimum

$$A_{v_{\min}} = \frac{0,35 \times b \times s}{f_y}$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ kaki}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

Luas tulangan yang direncanakan:

$$A_{v1} = \frac{0,35 \times 1000 \times 100}{400} = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{v2} = \frac{0,35 \times 1000 \times 100}{400} = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{v3} = \frac{0,35 \times 1000 \times 100}{400} = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{v4} = \frac{0,35 \times 1000 \times 100}{400} = 87,5 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pakai:

$$A_{v1} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$A_{v2} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$A_{v3} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$A_{v4} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

d. Panjang Penyaluran Kondisi Tarik

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.2.2)

Untuk batang tulangan atau kawat ulur D19 dan yang lebih kecil

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\begin{aligned} l_d &= \frac{(f_y \times \psi_t \times \psi_e)}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b \\ &= \frac{(400 \times 1 \times 1)}{2,1 \times 1 \times \sqrt{40}} \times 22 = 662,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk batang tulangan atau kawat ulur D22 dan yang lebih besar

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= \frac{(f_y \times \psi_t \times \psi_e)}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'}} \times db \\
 &= \frac{(400 \times 1 \times 1)}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} \times 22 = 818,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

e. Panjang Penyaluran Kondisi Tarik

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.2.3)

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\psi_s = 1$$

$$K_{tr} = 0$$

$$\frac{cb + K_{tr}}{db} \leq 2,5 \text{ (berdasarkan pasal 12.2.3)}$$

Asumsikan sebesar 2,5

$$l_d = \frac{(f_y \times \psi_t \times \psi_e \times \psi_s)}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{cb + k_{tr}}{db} \right)} \times db$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= \frac{(400 \times 1 \times 1 \times 1)}{1,1 \times 1 \times \sqrt{40} \times 2,5} \times 22 \\
 &= 505,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

f. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2)

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times db = \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \times 22 = 333,94 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times db = 0,043 \times 400 \times 22 = 378,4 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} pakai = 378,4 mm

syarat $l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$ (OK)

g. Panjang Penyaluran Kait Standar

(berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1)

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$ldh = \frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \times db = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \times 22$$

$$ldh = 333,94 \text{ mm}$$

perpanjang kait:

$$12db = 12 \times 22 = 264 \text{ mm}$$

4.4.6.12 Metode Pelaksanaan Pengerjaan Balok Pratekan

Balok pratekan dengan sistem hubungan balok-kolom monolit dan menggunakan metode *post-tension*. Urutan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- Beton pratekan dikerjakan setelah struktur utama non pratekan dibawahnya selesai. Karena kolom merupakan struktur vertikal yang merupakan struktur utama dari sebuah gedung, maka pekerjaan balok pratekan dikerjakan setelah kolom berdiri.
- Bekisting beton pratekan dipasang, lalu dipasang pipa selongsong lentur yang dibuat dari *plastic* atau metal, yang akan menyelubungi tendon. Pipa tersebut diletakkan didalam bekisting dengan posisi diatur dan ditahan untuk membentuk pola sesuai bidang momennya.
- Kemudian karena pekerjaannya dilakukan dengan metode cor ditempat, maka beton langsung di cor, pengecoran ini dapat dilakukan sekaligus dengan pengecoran pelat lantai selebar b efektif. Pengecoran harus tetap menjaga pipa selongsong tendon tetap kokoh pada posisinya dan tidak kemasukan adukan, kemudian dilakukan perawatan pengerasan beton secukupnya sampai mencapai kekuatan tertentu.

- Setelah itu, tendon dimasukkan ke dalam pipa selongsong yang sudah disiapkan.
- Tendon tersebut kemudian ditarik (*jacking*) di satu ujung dan ujung satunya. Pada saat penarikan tendon ini, sudah terjadi kehilangan gaya-gaya prategangnya. Dengan demikian *jacking* harus sudah mempertimbangkan hal-hal yang menyangkut kehilangan tersebut.
- Kemudian diangkurkan, fungsi angkur untuk menahan tendon agar tidak terjadi slip (penggelinciran) dalam rangka upaya agar beban atau tegangan tarikan tetap bertahan pada tendon.
- Kemudian proses *grouting*, proses ini dilakukan dengan menyuntikkan pasta semen setelah tendon ditarik atau sebelum beban hidup bekerja.
- Setelah dilakukan proses pengecoran dan *jacking* pada suatu balok, ditunggu ± 24 jam baru dilanjutkan pengecoran balok pratekan selanjutnya sekaligus dengan pelat lantai sebesar b efektif. Antara pelat yang sudah dicor dan plat yg baru akan dicor perlu diberikan *bonding agent* agar pelat tetap monolit setelah tercor sempurna.

4.5 Perencanaan Struktur Utama Non Prategang

4.5.1 Umum

Perencanaan struktur utama non pratekan ini meliputi perencanaan balok induk, kolom, serta hubungan balok kolom. Perhitungan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 terkait ketentuan dan persyaratan perhitungan gempa. Perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung sebagian besar menggunakan konstruksi beton bertulang biasa, sehingga diperlukan ketelitian perhitungan penulangan secara manual maupun menggunakan program bantu ETABS.

4.5.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskannya ke kolom. Pada preliminaru design Apartemen Puncak CBD Wiyung direncanakan beberapa balok induk seperti pada Tabel 4.31.

Tabel 4. 31 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Nama Balok	Bentang	Dimensi	
	(mm)	h (mm)	b (mm)
B1	5000	500	300
B2	4800	500	300
B3	4425	500	300
B4	2750	350	250
B5	2400	350	250

4.5.2.1 Perhitungan Penulangan Balok Lentur Balok Induk

Pada perencanaan penulangan lentur balok induk ini akan dicontohkan melalui perhitungan balok induk B1 pada lantai Ballroom.

a. Data Perencanaan

L	= 5000 mm
Mu tumpuan (+)	= 77.489.400 N.mm
Mu tumpuan (-)	= -116.461.200 N.mm
Mu lapangan	= 84.540.400 N.mm
Tu	= 24.348.700 N.mm
Vu (Envelope)	= 110.003,5 N
Vu (1,2D+1,6L)	= 96.847,5 N
Vu _{2h}	= 105.979 N
f'c	= 30 MPa
fy	= 400 MPa

Tul Lentur (D)	= 16 mm
As tulangan	= 201,143 mm ²
Tul Sengkan (D)	= 10 mm
As tulangan	= 78,539 mm ²
B	= 300 mm
H	= 500 mm
Decking	= 40 mm
d'	= decking+ Ø sengkang+ ½ Ølentur = 58 mm
d	= h – (decking+ Ø sengkang+ ½ Ølentur) = 500 – 58 = 442 mm

b. Penulangan Tumpuan Positif

Asumsi awal berada pada kondisi *tension controlled section* (penampang terkontrol Tarik), dimana $\phi = 0,9$.

$$M_u = 77,4894 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{77.489.400}{0,9} = 86.099.333 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \text{ } (\rho_{\max} \text{ pakai})$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 (\rho_{\min} \text{ pakai})$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

- Ambil harga $X \leq 0,75 X_b$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 442 = 265,2 \text{ mm}$$

$$X \leq 0,75 \times 265,2 = 198,9 \text{ mm. Direncanakan } X = 180 \text{ mm.}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c \cdot b \cdot X}{f_y} = \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \times 300 \times 180}{400} = 287,95 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right) \\ &= 287,95 \times 400 \times (442 - (0,8365 \times 180/2)) \\ &= 422.089.140 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

- $M_n - M_{nc} < 0$ (tulangan tunggal)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{86.099.333}{300 \times 442^2} = 1,469$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,469}{400}} \right) = 0,00378 \end{aligned}$$

Maka pakai $\rho = 0,00378$ ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

- **Tulangan tumpuan bawah**

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00378 \times 300 \times 500 \\ &= 501,886 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{501,88}{201,143} = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D16 ($As_{\text{pasang}} = 603,429 \text{ mm}^2$)

- Tulangan tumpuan atas

$$\begin{aligned} As_{\text{min}} &= \frac{1}{2} \times As \\ &= \frac{1}{2} \times 501,886 = 250,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tulangan}}} = \frac{250,94}{201,143} = 2 \text{ buah}$$

Dipakai 2D16 ($As_{\text{pasang}} = 402,266 \text{ mm}^2$)

- Kontrol Jarak Tulangan

$$\text{Jarak tul (s)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2d' - 2\phi \cdot S}{n - 1} = 45,33 > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Menghitung d aktual

Letak titik berat tulangan (dari bawah)

$$Y = \frac{Atot \times (\text{decking} + \phi \text{sengkang} + 1/2 \phi \text{lentur})}{Atot} = 58 \text{ mm.}$$

Tinggi efektif actual:

$$d_{\text{aktual}} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan

$$fs' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{58}{180}\right) \times 600 = 406,67 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot fc \cdot b} = 31,55 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn_{\text{act}} &= As \cdot fy - As' \cdot fs' \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + As' \cdot fs' \cdot (d - d') \\ &= 102.878.317,4 \text{ N.mm} > Mn = 86.099.333,33 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

c. Penulangan Tumpuan Negatif

$$M_u = -116,4612 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{116.461.200}{0,9} = 129.401.333,3 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(F_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

- Ambil harga $X \leq 0,75 X_b$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \times d = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 442 = 265,2 \text{ mm}$$

$$X \leq 0,75 \times 265,2 = 198,9 \text{ mm. Direncanakan } X = 180 \text{ mm.}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c \cdot b \cdot X}{f_y} = \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \times 300 \times 180}{400} = 2876,95 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right)$$

$$= 2867,95 \times 400 \times (442 - (0,8365 \times 180/2))$$

$$= 422.089.140 \text{ N.mm}$$

- $M_n - M_{nc} < 0$ (tulangan tunggal)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{129.401.333,3}{300 \times 442^2} = 2,208$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 2,208}{400}} \right) = 0,00578$$

Maka pakai $\rho = 0,00578$ ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

- **Tulangan tumpuan atas**

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00578 \times 300 \times 500$$

$$= 766,675 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tulangan}}} = \frac{766,675}{201,143} = 4 \text{ buah}$$

Dipakai 4D16 ($A_{s\text{pasang}} = 804,571 \text{ mm}^2$)

- **Tulangan tumpuan bawah**

$$A_{s\min} = \frac{1}{2} \times A_s$$

$$= \frac{1}{2} \times 766,675 = 383,338 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tulangan}}} = \frac{383,338}{201,143} = 2 \text{ buah}$$

Dipakai 2D16 ($A_{s\text{pasang}} = 402,286 \text{ mm}^2$)

- **Kontrol Jarak Tulangan**

$$\text{Jarak tul (s)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2d' - 2\phi \cdot S}{n - 1} = 45,33 > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Menghitung d aktual

Letak titik berat tulangan (dari bawah)

$$Y = \frac{Atot \times (decking + \phi sengkang + 1/2 \phi lentur)}{Atot} = 58 \text{ mm.}$$

Tinggi efektif actual:

$$d_{\text{aktual}} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

- Kontrol Kekuatan

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{58}{180}\right) \times 600 = 406,67 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{As \cdot f_y - As' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = 42,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n\text{act}} &= As \cdot f_y - As' \cdot f_s' \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + As' \cdot f_s' \cdot (d - d') \\ &= 135.478.710 \text{ N.mm} > M_n = 129.401.333 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Rekapitulasi tulangan lentur tumpuan B1 (Ballroom)

▪ Akibat momen positif

Tulangan bawah : 3D16 ($As_{\text{pasang}} = 603,429 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : 2D16 ($As_{\text{pasang}} = 402,266 \text{ mm}^2$)

▪ Akibat momen negatif

Tulangan bawah : 2D16 ($As_{\text{pasang}} = 402,286 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : 4D16 ($As_{\text{pasang}} = 804,571 \text{ mm}^2$)

Jadi tulangan yang digunakan yaitu yang memiliki nilai terbesar dari dua arah pembebanan gempa, yaitu

Tulangan bawah : 3D16 ($As_{\text{pasang}} = 603,429 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : 4D16 ($As_{\text{pasang}} = 804,571 \text{ mm}^2$)

d. Kontrol kekuatan dalam menahan momen positif

$M_u = 77,4894 \text{ kN.m}$

$M_n = 86.099.333,3 \text{ N.mm}$

Decking = 40 mm

Jarak ke as tulangan, tarik (d_1) = 58 mm

Jarak ke as tulangan, tekan (d_2) = 58 mm

Tinggi efektif, d actual = 442 mm

Tulangan Tarik 3D16, A_{s1} = 603,429 mm²

Tulangan Tekan 4D16, A_{s2} = 804,571 mm²

$$(0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1) X^2 + (A_{s2} \cdot 600 - A_{s1} \cdot f_y) X - A_{s2} \cdot d \cdot 600 = 0$$

$$6393,214 X^2 + 241371 X - 27999086 = 0$$

Dengan menggunakan kalkulator, $X = 49,94$ mm.

Mencari nilai f_c' tulangan terpasang

$$F_s' = \left(1 - \frac{d_2}{x}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{58}{49,94}\right) \times 600 = -96,84 \text{ MPa}$$

$F_s' < 400$ MPa (tulangan tidak leleh)

$$M_{n_{act}} = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2}\right) + A_{s2} \cdot f_s' \cdot (d - d_2)$$

$$= 104.539.810,4 \text{ N.mm} > M_n = 86.099.333 \text{ N.mm (OK)}$$

Cek kondisi penampang

$$C = 49,94 \text{ mm} < 0,375 \times d_{aktual} = 167,75 \text{ mm}$$

Asumsi penampang *tension controlled* **benar**.

e. Kontrol kekuatan dalam menahan momen negatif

M_u = 116,4612 kN.m

M_n = 129.401.333,3 N.mm

Decking = 40 mm

Jarak ke as tulangan, tarik (d_1) = 58 mm

Jarak ke as tulangan, tekan (d_2) = 58 mm

Tinggi efektif, d actual = 442 mm

Tulangan Tarik 4D16, A_{s1} = 804,57 mm²

Tulangan Tekan 3D16, A_{s2} = 603,43 mm²

$$(0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1) X^2 + (A_{s2} \cdot 600 - A_{s1} \cdot f_y) X - A_{s2} \cdot d \cdot 600 = 0$$

$$6393,214 X^2 + 241371 X - 20.999.314 = 0$$

Dengan menggunakan kalkulator, $X = 54,25$ mm.

Mencari nilai f_c' tulangan terpasang

$$F_s' = \left(1 - \frac{d_2}{x}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{58}{54,25}\right) \times 600 = -41,47 \text{ MPa}$$

$F_s' < 400 \text{ MPa}$ (tulangan tidak leleh)

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{act}}} &= 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2}\right) + A_{s_2} \cdot f_s' \cdot (d - d_2) \\ &= 135.827.079 \text{ N.mm} > M_n = 129.401.333 \text{ N.mm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Cek kondisi penampang

$$C = 54,25 \text{ mm} < 0,375 \times d_{\text{aktual}} = 167,75 \text{ mm}$$

Asumsi penampang *tension controlled* **benar**.

f. Kontrol batas penulangan tumpuan

Kontrol berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1:

$$\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 300 \cdot 442}{400} = 464,1 \text{ mm}^2$$

$$464,1 \text{ mm}^2 < A_s \text{ tul bawah} = 603,429 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

$$464,1 \text{ mm}^2 < A_s \text{ tul atas} = 804,571 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)}$$

g. Kontrol jarak tulangan tumpuan

Kontrol berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4:

$$C_c = \text{tebal selimut} + \varnothing \text{sengkang} = 40 + 10 = 50 \text{ mm}$$

$$F_s = 2/3 \times F_y = 2/3 \times 400 = 266,67 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 300 \times \frac{280}{f_s} - 2,5 C_c = 300 \times \frac{280}{266,67} - 2,5 \times 50 = 274 \text{ mm}$$

$$S_1 > 58 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

$$S_2 = 300 \times \frac{280}{f_s} = 300 \times \frac{280}{266,67} = 315 \text{ mm}$$

$$S_2 > 58 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

h. Penulangan Lapangan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2 menyatakan bahwa baik nilai momen positif maupun negative sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperempat nilai momen maksimum pada tumpuan.

$$Mu_{\text{lapangan}} = 84,5404 \text{ kN.m}$$

$$Mn = 93.933.777,78 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05 \frac{(Fc' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} = 0,835\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc' \left(\frac{600}{600 + fy} \right)}{fy} \\ &= \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)}{400} = 0,0319\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0319 = 0,0239 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,025 \times \sqrt{30}}{400} = 0,00342$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

- Ambil harga $X \leq 0,75 X_b$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \times d = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 442 = 265,2 \text{ mm}$$

$$X \leq 0,75 \times 265,2 = 198,9 \text{ mm. Direncanakan } X = 180 \text{ mm.}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc \cdot b \cdot X}{fy} = \frac{0,85 \times 0,835 \times 30 \times 300 \times 180}{400} = 287,695 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right) \\
 &= 2867,95 \times 400 \times (442 - (0,8365 \times 180/2)) \\
 &= 422.089.140 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- $M_n - M_{nc} < 0$ (tulangan tunggal)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{93.933.777,78}{300 \times 442^2} = 1,603$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,603}{400}} \right) = 0,00414
 \end{aligned}$$

Maka pakai $\rho = 0,00414$ ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$)

- **Tulangan lapangan bawah**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00414 \times 300 \times 500 \\
 &= 549,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} = \frac{549,14}{201,143} = 3 \text{ buah}$$

Dipakai 3D16 ($A_{s_{\text{pasang}}} = 603,428 \text{ mm}^2$)

- **Tulangan lapangan atas**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\min}} &= \frac{1}{2} \times A_s \\
 &= \frac{1}{2} \times 549,14 = 274,568 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n \text{ (jlh)} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} = \frac{274,568}{201,143} = 2 \text{ buah}$$

Dipakai 2D16 ($A_{s_{\text{pasang}}} = 402,286 \text{ mm}^2$)

- **Kontrol Jarak Tulangan**

$$\text{Jarak tul (s)} = \frac{b - n \cdot \phi \cdot L - 2d' - 2\phi \cdot S}{n - 1} = 76 > 25 \text{ mm (OK)}$$

- Menghitung d aktual

Letak titik berat tulangan (dari bawah)

$$Y = \frac{A_{tot} \times (decking + \phi_{senggang} + 1/2 \phi_{lentur})}{A_{tol}} = 58 \text{ mm.}$$

Tinggi efektif actual:

$$d_{\text{aktual}} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

i. Kontrol Balok T

Berdasarkan SNI 2847:2013 untuk konstruksi balok T, sesuai dengan persyaratan sebagai berikut:

$$-b_e = 1/4 L_b = 1250 \text{ mm (menentukan)}$$

$$-b_e = b_w + 8t = 1340 \text{ mm}$$

$$-b_e = 1/2 \times (L_b - b_w) = 2350 \text{ mm}$$

$$A_s = 603,428 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b_e} = 7,57 \text{ mm}$$

$$x = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,57}{0,835} = 9,065 \text{ mm} \leq 130 \text{ mm}$$

$x \leq t$, termasuk balok T palsu sehingga perhitungan dilakukan dengan balok persegi.

- Kontrol Kekuatan

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \times 600 = \left(1 - \frac{58}{180}\right) \times 600 = 406,67 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = 31,55 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{\text{act}}} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \\ &= 102.878.317,4 \text{ N.mm} > M_n = 93.933.777 \text{ N.mm (OK)} \end{aligned}$$

Cek kondisi penampang

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,57}{0,835} = 9,065 \text{ mm} < 0,375 \times d_{\text{aktual}} = 167,75 \text{ mm}$$

Asumsi penampang *tension controlled* benar.

j. Kontrol batas penulangan lapangan

- Kontrol berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1:

$$- \frac{1,4.b_w.d}{f_y} = \frac{1,4.300.442}{400} = 464,1 \text{ mm}^2$$

$$464,1 \text{ mm}^2 < \text{As tul atas} = 402,285 \text{ mm}^2 \text{ (TIDAK OK)}$$

$$464,1 \text{ mm}^2 < \text{As tul bawah} = 603,429 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Maka untuk tulangan atas dipasang **3D16**:

$$464,1 \text{ mm}^2 < \text{As tul atas} = 603,429 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$- \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \times b_w \times d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} . 300.442 = 453,93 \text{ mm}^2$$

$$453,93 \text{ mm}^2 < \text{As tul atas} = 603,429 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$453,93 \text{ mm}^2 < \text{As tul bawah} = 603,429 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Kontrol berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2.

$$M_n^+ \geq \frac{1}{2} M_n$$

$$135.827.079 \text{ N.mm} \geq 52.269.905,19 \text{ N.mm} \text{ (OK)}$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas, didapatkan rekapitulasi penulangan lentru balok induk pada Apartemen Puncak CBD Wiyung tabel berikut.

Tabel 4. 32 Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok Induk

Balok Induk Apartemen				
Tipe Balok	Tumpuan		Lapangan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
B1	3D16	4D16	3D16	3D16
B2	3D16	4D16	3D16	3D16
B3	3D16	6D16	3D16	4D16
B4	2D16	2D16	3D16	6D16
B5	4D16	4D16	2D16	3D16

Balok Induk Atap				
Tipe Balok	Tumpuan		Lapangan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
B1	3D16	3D16	3D16	3D16
B2	3D16	3D16	3D16	3D16
B3	3D16	5D16	3D16	3D16
B4	2D16	2D16	2D16	2D16
B5	2D16	3D16	2D16	2D16

4.5.2.2 Perencanaan Tulangan Torsi Balok Induk

Pada perencanaan penulangan balok induk ini akan dicontohkan melalui perhitungan balok induk B1 pada lantai Ballroom

$$Tu = 24,3487 \text{ kN.m}$$

$$Vu = 110,0035 \text{ kN}$$

a. Perhitungan Luas dan Keliling Penampang

A_{cp} = Luas bruto penampang beton

$$= b \times h$$

$$= 150.000 \text{ mm}^2$$

P_{cp} = keliling luar penampang bruto

$$= 2 \times (b+h)$$

$$= 1600 \text{ mm}$$

b_h = $(b - 2 \times \text{cover} - \phi_{\text{geser}})$

$$= 210 \text{ mm}$$

h_h = $(h - 2 \times \text{cover} - \phi_{\text{geser}})$

$$= 410 \text{ mm}$$

A_{oh} = luasan penampang yang dibatasi tulangan Sengkang

$$= b_h \times h_h$$

$$= 86.100 \text{ mm}^2$$

P_{oh} = keliling penampang yang dibatasi tulangan sengkang

$$= 2 \times (bh + hh)$$

$$= 1240 \text{ mm}$$

b. Kontrol kebutuhan tulangan torsi

Perencanaan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.1, yaitu pengaruh torsi dapat diabaikan jika momen torsi terfaktor T_u kurang dari perumusan berikut:

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana

A_{cp} = luas penampang total

P_{cp} = keliling penampang total

$\phi = 0,75$ faktor reduksi beban torsi) SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3

$\lambda = 1$ (beton normal) SNI 2847:2013 pasal 8.6.1

Sehingga dapat dihitung:

$$T_u < \phi \cdot 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u < 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{150000^2}{1600} \right)$$

24.348.700 N.mm < 4.794.712 N.mm (memerlukan tulangan torsi)

c. Cek penampang balok

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_{oh}}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

Dimana:

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot w \cdot d = 123.467,62 \text{ N}$$

Sehingga:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{bw.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \times Poh}{1,7 \times Aoh^2}\right)^2}$$

$$\sqrt{\left(\frac{110.003,5}{300.442}\right)^2 + \left(\frac{24348700 \times 1240}{1,7 \times 86100^2}\right)^2} = 2,535$$

$$\phi \left(\frac{Vc}{bw.d} + 0,66\sqrt{fc} \right) = 0,75 \left(\frac{123.467,5}{300.442} + 0,66\sqrt{30} \right) = 3,409$$

$$2,535 \leq 3,409 \quad (\text{OK})$$

d. Perhitungan tulangan transversal penahan torsi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6 pada perhitungan tulangan transversal penahan torsi nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$.

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 86100 = 73.185 \text{ mm}^2$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{S} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{A_t}{S} = \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta} = 0,5545 \text{ mm}^2/\text{m}$$

e. Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi

$$A_1 = \frac{A_t}{S} \cdot Poh \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta = 0,55450115 \times 1240 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times 1$$

$$= 687,581 \text{ mm}^2 \quad (\text{menentukan})$$

$$A_{1\min} = \frac{0,42 \cdot \sqrt{f_c} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{S} \right) \cdot Poh \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right)$$

$$= \frac{0,42 \sqrt{30} \times 150000}{400} - 0,5545 \times 1240 \times \left(\frac{400}{400} \right)$$

$$A_{1\min} = 175,081602 \text{ mm}^2$$

A longitudinal untuk torsi terbagi menjadi 4 bagian, 25% didistribusikan ke kiri, 25% ke kanan, 25% ke atas, dan 25% ke bawah bagian balok. A1 torsi untuk kiri kanan= $0,5 \times 687,581 \text{ mm}^2 = 343,7905 \text{ mm}^2$.

Dikarenakan tulangan minimum 1, maka digunakan 1D16 ($A_s = 201,143 \text{ mm}^2$), dipasang masing-masing 1 batang di sisi samping kiri kanan balok sepanjang bentang.

Berikut merupakan hasil rekapitulasi penulangan longitudinal penahan torsi (Tabel 4.33)

Tabel 4. 33 Rekapitulasi Penulangan Longitudinal Penahan Torsi

Balok Induk Apartemen					
Tipe Balok	Atas	Bawah	Kiri	Kanan	Total
B1	D16	D16	D16	D16	4D16
B2	D16	D16	D13	D13	2D16- 2D13
B3	D16	D16	D16	D16	4D16
B4	-	-	D16	D16	2D16
B5	-	-	D16	D16	2D16
Balok Induk Atap					
Tipe Balok	Atas	Bawah	Kiri	Kanan	Total
B1	D16	D16	D16	D16	4D16
B2	D16	-	D16	D16	3D16
B3	D16	-	D16	D16	3D16
B4	-	-	D16	D16	2D16
B5	-	-	D16	D16	2D16

4.5.2.3 Penulangan Geser

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2:

$$S < \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 442 = 110,5 \text{ mm}$$

$$S < 6 \times \emptyset = 6 \times 16 = 96 \text{ mm (menentukan)}$$

$$S < 150 \text{ mm}$$

Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Pada daerah lapangan syarat maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4:

$$S < \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 442 = 221 \text{ mm (menentukan)}$$

a. Penulangan geser tumpuan

Perhitungan tulangan geser yang dipengaruhi beban gempa dihitung dari kapasitas balok memikul momen proable. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4 bahwa gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada bagian tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum M_{pr} , dan komponen struktur tersebut dibebani penuh beban gravitasi terfaktor.

- Momen ujung M_{pr}

M_{pr} merupakan kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur yang ditentukan menggunakan sifat-sifat komponen struktur pada muka joint dengan menganggap kuat tarik pada tulangan longitudinal sebesar minimum 1,25 f_y .

Akibat gempa ke kiri

▪ M_{pr} negatif

$$A_s = 603,429 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 804,471 \text{ mm}^2$$

$$d = 442 \text{ mm}$$

$$a = 31,55 \text{ mm}$$

$$f'_s = 400 \text{ MPa}$$

$$d' = 58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= (A_s \times 1,25 f_y - A'_s \times 1,25 f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \times 1,25 f'_s \\
 &\quad \times (d - d')) \\
 &= 111.611.749 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

▪ Mpr positif

$$\begin{aligned}
 A_s &= 804,571 \text{ mm}^2 \\
 A'_s &= 603,429 \text{ mm}^2 \\
 d &= 442 \text{ mm} \\
 a &= 42,069 \text{ mm} \\
 f'_s &= 400 \text{ MPa} \\
 d' &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= (A_s \times 1,25 f_y - A'_s \times 1,25 f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \times 1,25 \\
 &\quad f'_s \times (d - d')) \\
 &= 158.195.383 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Akibat gempa ke kanan

▪ Mpr negatif

$$\begin{aligned}
 A_s &= 603,429 \text{ mm}^2 \\
 A'_s &= 804,429 \text{ mm}^2 \\
 d &= 442 \text{ mm} \\
 a &= 42,069 \text{ mm} \\
 f'_s &= 400 \text{ MPa} \\
 d' &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= (A_s \times 1,25 f_y - A'_s \times 1,25 f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \times 1,25 \\
 &\quad f'_s \times (d - d')) \\
 &= 111.611.749 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

▪ Mpr positif

$$\begin{aligned}
 A_s &= 804,571 \text{ mm}^2 \\
 A'_s &= 603,429 \text{ mm}^2 \\
 d &= 442 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$a = 42,069 \text{ mm}$$

$$f'_s = 400 \text{ MPa}$$

$$d' = 58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr2} &= (A_s \times 1,25 f_y - A'_s \times 1,25 f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \times 1,25 \\ &\quad f'_s \times (d - d')) \\ &= 158.195.383 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Gaya geser total pada muka tumpuan (>2h)

- Gaya geser akibat beban gravitasi

$$V_G (1,2 D + 1L) = 96,8475 \text{ kN} = 96847,5 \text{ N}$$

Akibat gempa ke kiri

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ Vekn} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{Ln} - V_G \\ &= \frac{111.611.749 + 158.195.383}{5000} - 96847,5 \\ &= -42886,074 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ Vekn} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{Ln} + V_G \\ &= \frac{111.611.749 + 158.195.383}{5000} + 96847,5 \\ &= 150808,93 \text{ N} \end{aligned}$$

Akibat gempa ke kanan

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ Vekn} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{Ln} - V_G \\ &= \frac{111.611.749 + 158.195.383}{5000} - 96847,5 \\ &= -42886,074 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacksquare V_{ekn} &= \frac{Mpr_1 + Mpr_2}{Ln} + V_G \\
 &= \frac{111.611,74 + 158.195,38}{5000} + 96847,5 \\
 &= 150808,93 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya geser total yang menentukan, $V_e = 150808,93 \text{ N}$

- Perhitungan penulangan geser

Kuat geser beton ($V_c=0$) seperti yang dijelaskan pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 apabila:

- Gaya geser akibat gempa $> 0,5 \times$ gaya geser total
 $\text{Gaya geser total} - V_G > 75404,463 \text{ N}$
 $53961,42628 \text{ N} > 75404,463 \text{ N}$ **(NOT OK)**
- Gaya geser tekan aksial $< A_g \times \frac{f_c'}{20}$
 $892,9 \text{ N} < 225000 \text{ N}$ **(OK)**

Karena gaya aksial kecil sekali, maka persyaratan ini dianggap memenuhi.

Dikarenakan hanya satu syarat saja yang memenuhi, maka V_c tidak bias dianggap 0.

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$= 121046,685 \text{ N}$$

$$\emptyset = 0,75 \text{ (faktor reduksi beban torsi) (SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.3)}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{150808,926}{0,75} - 121046,685 = 80031,88 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d_{aktual}} \\ &= \frac{80031,882}{400 \times 442} = 0,4526 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan transversal penahan geser dan torsi

$$\frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 0,4526 + 0,5545 = 1,0071 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dipasang Sengkang 1D10,

$$A_v = 78,57 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,57}{1,0071} = 78,012 \text{ mm}$$

Dipakai D10- 70 mm.

b. Penulangan geser di luar sendi plastis

Tulangan geser di luar sendi plastis ($>2h$)

$$V_{u2h} = 105,9789 \text{ kN} = 105978,9 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 123467,62 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{smin} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 242093,37 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c$$

$$105978,9 \text{ N} \leq 46300,36 \text{ N}$$

→ (Butuh penguatan geser)

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c$$

$$46300,36 \text{ N} \leq 105978,9 \text{ N} \leq 92600,71 \text{ N}$$

→ (Tidak memerlukan tulangan minimum)

$$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot (V_c + V_{smin})$$

$$92.600,71 \text{ N} \leq 105.978,9 \text{ N} \leq 274.170,742 \text{ N}$$

→ (Perlu penulangan geser dengan syarat $S_{min} = d/2$)

$$\emptyset. (V_c + V_s) \leq V_u \leq \phi \times \left(\frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \right)$$

$$274.170,742 \text{ N} \leq 105.978,9 \text{ N} \leq 452.109 \text{ N}$$

→ (Tidak perlu tulangan geser dengan syarat $S_{\min} = d/4$)

Maka, dapat disimpulkan bahwa balok termasuk kategori membutuhkan tulangan geser dengan

$$S_{\min} = d/2 = 442/2 = 221 \text{ mm}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser, sehingga:

$$V_s = \frac{V_{u_{2h}}}{\phi} - V_c = \frac{105979}{0,75} - 123467,619 = 17838 \text{ N}$$

Direncanakan Senggang 1 kaki D10

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d_{\text{aktual}}} = \frac{17838}{400 \times 442} = 0,10089 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan transversal penahan geser dan torsi:

$$\frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 0,10089 + 0,5545 = 0,65539 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dipasang Senggang D10

$$A_v = 78,57 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,57}{0,65539} = 119,88$$

Dipakai Senggang D10-120 mm pada daerah luar sendi plastis ($>2h=1000 \text{ mm}$)

Rekapitulasi kebutuhan tulangan transversal penahan geser dan torsi dapat dilihat pada **Tabel 4.33**.

4.5.2.4 Panjang Penyaluran Tulangan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 12.5.1, panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan Tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal adalah sebagai berikut:

$$L_{dh} > 8 \times db = 128 \text{ mm}$$

$$L_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$L_{dh} > \frac{0,24 \cdot f_y \cdot db}{\sqrt{f_c}} = 280,434 \text{ mm}$$

Maka gunakan $L_{dh} = 300 \text{ mm}$ masuk ke dalam kolom, dengan Panjang kait $12 \times db = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$.

Tabel 4. 34 Rekapitulasi Penulangan Geser Balok Induk

Balok Induk Apartemen			
Tipe Balok	Daerah sendi plastis (<2h)	Di luar sendi plastis (>2h)	2h (mm)
B1	D10-70	D10-120	1000
B2	D10-90	D10-130	1000
B3	2D10-90	2D10-180	1000
B4	D10-60	D10-140	700
B5	D10-40	D10-100	700
Balok Induk Atap			
Tipe Balok	Daerah sendi plastis (<2h)	Di luar sendi plastis (>2h)	2h (mm)
B1	D10-80	D10-120	1000
B2	D10-90	D10-170	1000
B3	D10-70	D10-140	1000
B4	D10-60	D10-140	700
B5	D10-70	D10-140	700

4.5.3 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul seluruh beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Perencanaan kolom dibedakan menjadi 4 tipe kolom dengan data sebagai berikut:

- Data umum perencanaan kolom
 - Dimensi kolom Lobby-Lt.7 = 85/85 cm
 - Dimensi kolom Lt.8-Lt.17 = 75/75 cm
 - Dimensi kolom Lt.18-Lt.27 = 65/65 cm
 - Dimensi kolom Lt.28-Lt.37 = 60/60 cm
 - Tebal decking = 40 mm
 - Mutu tulangan (f_y) = 400 MPa
 - Mutu beton (f_c') = 40 MPa

4.5.3.1 Kontrol Dimensi Kolom

Contoh perhitungan perencanaan kolom adalah kolom 85/85 cm. Berdasarkan hasil perhitungan ETABS diexport beban aksial dan momen dari semua kombinasi beban yang bekerja pada kolom 85/85 cm, yaitu:

$$\begin{aligned}
 P_{u_{\max}} &: 5307,0319 \text{ KN} \\
 V_{u_{\max}} &: 410,6603 \text{ KN} \\
 T_{u_{\max}} &: 6,185 \text{ KN.m} \\
 M_x &: 320,5709 \text{ KN.m} \\
 M_y &: 314,8752 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi ialah sebesar $\geq A_g \times \frac{f_c}{10}$, maka komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi- kondisi sebagai berikut:

- Dimensi penampang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm.
 $850 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$
- Rasio dimensi besar dari 0.4

$$\text{Rasio } b/h = 850/850 = 1 > 0.4$$

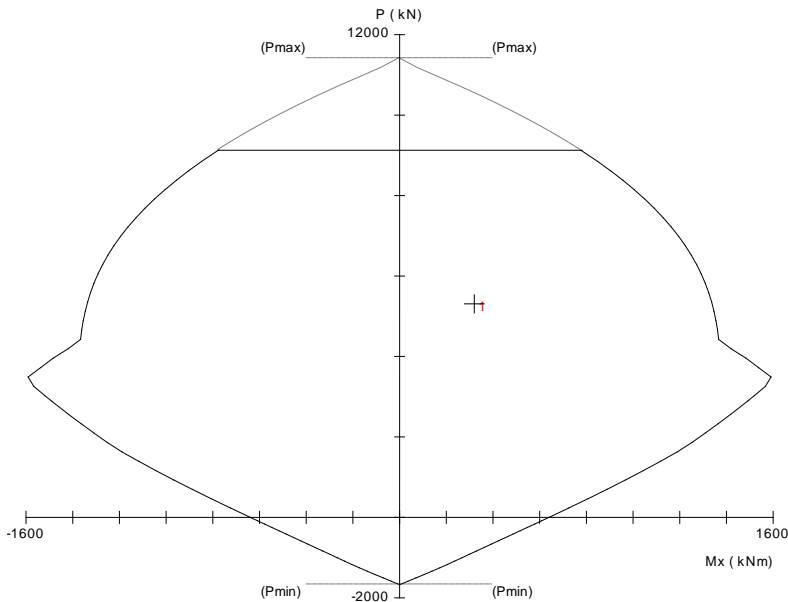
Dari hasil running program didapatkan gaya aksial terfaktor terbesar adalah 5307,0319 KN

$$5307,0319 \geq 850 \times 850 \times \frac{40}{10} \times \frac{1}{1000}$$

$$5307,0319 \geq 2890 \text{ (OK)}$$

4.5.3.2 Penulangan Longitudinal Kolom

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu PCA COL, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. 24 Output spColumn Design Biaxial Kolom 85/85

Dari hasil spColumn Design diatas, didapatkan tulangan longitudinal yang dapat dipakai adalah **12D29**.

Grafik Interaksi Aksial dan Momen Pada Kolom

$$\phi M_n = 2508,54 \text{ KN.m} > M_u = 320,5709 \text{ KN.m (OK)}$$

4.5.3.3 Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal pada Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6, luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g .

$$A_{st} = 7929,428 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 722500 \text{ mm}^2$$

Dari diagram interaksi yang dibuat dengan program PCACOL diperoleh tulangan longitudinal: 12D29, dengan rasio tulangan = 1,07 %

$$\begin{aligned} 0,01 A_g &< A_{st} < 0,06 A_g \\ 7250 \text{ mm}^2 &< 7929,428 \text{ mm}^2 < 43350 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.5.3.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n = 0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st})$$

Dimana:

$$P_u = 5307,0319 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0,65$$

$$A_g = 850 \times 850 = 722500 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 7929,428 \text{ mm}^2$$

Sehingga

$$\phi P_n = 14282,92885 \text{ kN} > P_u = 5307,0319 \text{ kN (OK)}$$

4.5.3.5 Kontrol Gaya Tekan Terhadap Gaya Geser Rencana

Gaya Geser rencana, V_e , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1

$$F_y = 1,25 f_y = 1,25 \times 400 = 500 \text{ MPa}$$

$$L_n = 2,45 \text{ m}$$

$$M_{pr} = 2594,03 \text{ kN.m}$$

$$V_{ex} = \frac{2 \times M_{pr}}{L_n} = \frac{2 \times 2594,03}{2,45}$$

$$V_{ex} = 2117,57551 \text{ kN} > V_u = 410,6603 \text{ kN (OK)}$$

4.5.3.6 Perhitungan Tulangan Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3, ujung-ujung kolom sepanjang L_o harus dikekang oleh tulangan trasversal (Ash) dengan spasi sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3.

Pemasangan Tulangan di Daerah Sendi Plastis

Jarak Tulangan Maksimum:

$$\frac{1}{4} b_{kolom} = \frac{1}{4} \times 850 = 212,5 \text{ mm}$$

$$6 d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$$

$$S_o = 100 + \frac{350 - (0,5 \cdot (850 - 2 \times (40 + 16) / 2))}{3}$$

$$= 132,88 \text{ mm}$$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 130 mm.

$A_{sh_{min}}$ sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut:

$$b_{cx} = 850 - 2 \times 40 - 2 \times 16 = 738 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (850 - 2 \times 40 - 2 \times 16)^2 = 544644 \text{ mm}^2$$

$$A_{shx} = 0,3 (s \times b_{cx} \times f_c') / f_y t [A_g / A_{ch} - 1]$$

$$A_{shx} = 0,3 \times \frac{(100 \times 738 \times 40)}{400} \times \left(\frac{722500}{544644} - 1 \right)$$

$$A_{shx} = 795,29 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

$$A_{sh1} = 0,09 (s \cdot b_{cx} \cdot f_c') / f_y t$$

$$A_{sh1} = 0,09 \times \frac{(110 \times 738 \times 40)}{400} = 730,62 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan 4D16-110

$$A_{sh} = 804,571 \text{ mm}^2 > 795,29 \text{ mm}^2$$

Pemasangan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom di luar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari:

$$- 6 \times db = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$- 150 \text{ mm}$$

Maka dipakai $s = 150 \text{ mm}$; 5D16-150

4.5.3.7 Kontrol Kebutuhan Tulangan Torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari:

$$P_u = 5307,0319 \text{ kN}$$

$$T_u = 6,1865 \text{ kN.m}$$

$$A_g = 722500 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = 544644 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 3400 \text{ mm}$$

$$T_n = \phi \times 0,33 \times \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{P_u}{0,33 \lambda \times A_g \sqrt{f_c'}}$$

$$T_n = \phi \times 0,33 \times \sqrt{40} \left(\frac{544644^2}{3400} \right) \sqrt{1 + \frac{5307,0319}{0,33 \times 722500 \times 1 \times \sqrt{40}}}$$

$$T_n = 251,6197 \text{ kNm}$$

$$T_n > T_u$$

$$251,6197 \text{ kNm} > 6,1865 \text{ kNm}$$

Maka **tulangan torsi diabaikan.**

4.5.3.8 Kontrol Persyaratan Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa:

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \times \Sigma M_{nb}$$

Di mana ΣM_{nc} adalah momen kapasitas kolom dan ΣM_{nb} merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong column weak beam.

- Menghitung nilai ΣM_{nb}

Pada kolom yang ditinjau (85/85) merupakan joint pertemuan antara B1(30/50), B2(30/50), dan B3 (30/50). Sehingga M_n yang dimaksud adalah total jumlah momen nominal terbesar pada balok B1, B2, dan B3.

a. M_n pada balok B1 (30/50)

Mencari lebar efektif pelat (be)

- Lebar efektif flens pelat yang disertakan dengan balok diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 13.2.4 yaitu:

$$be = bw + 2hw = 1040 \text{ mm (menentukan)}$$

$$be = bw + 8 hf = 1340 \text{ mm}$$

Tabel 4. 35 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik

Baris ke	Jumlah	Ø	A_{stul} (mm ²)	A_{stot} (mm ²)	Jarak (mm)	Luas × jarak (mm ³)
1	4	16	201,1429	804,5714	58	46665,14

- Letak titik berat tulangan (dari sisi luar beton)

$$y = \frac{46665,14}{804,5714} = 58 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif actual

$$d_{\text{aktual}} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

- Besar nilai Mnb B1

$$Mgl = (A_s \times 1,25 f_y - A'_s \times 1,25 f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A'_s \times$$

$$1,25 f'_s \times (d - d'))$$

$$Mgl^- = 111,612 \text{ kN.m}$$

$$Mgl^+ = 158,195 \text{ kN.m}$$

$$Mg \text{ total} = 269,807 \text{ kN.m}$$

b. Mn pada balok B2 (30/50)

Mencari lebar efektif pelat (be)

- Lebar efektif flens pelat yang disertakan dengan balok diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 13.2.4 yaitu:

$$be = bw + 2hw = 1040 \text{ mm (menentukan)}$$

$$be = bw + 8 hf = 1340 \text{ mm}$$

Tabel 4. 36 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik

Baris ke	Jumlah	Ø	A _{stul} (mm ²)	A _{s tot} (mm ²)	Jarak (mm)	Luas × jarak (mm ³)
1	4	16	201,1429	804,5714	58	46665,14

- Letak titik berat tulangan (dari sisi luar beton)

$$y = \frac{46665,14}{804,5714} = 58 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif actual

$$d_{\text{aktual}} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

- Besar nilai M_{nb} B2

$$\begin{aligned}
 M_{gl} &= (A_s \times 1,25 f_y - A' s \times 1,25 f' s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A' s \times \\
 &\quad 1,25 f' s \times (d - d')) \\
 M_{gl}^- &= 111,612 \text{ kN.m} \\
 M_{gl}^+ &= 158,195 \text{ kN.m} \\
 M_{g \text{ total}} &= 269,807 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- c. Mn pada balok B3 (30/50)

Mencari lebar efektif pelat (be)

- Lebar efektif flens pelat yang disertakan dengan balok diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 13.2.4 yaitu:

$$be = bw + 2hw = 1040 \text{ mm (menentukan)}$$

$$be = bw + 8 hf = 1340 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif actual

Tabel 4. 37 Konfigurasi Barisan Tulangan Tarik

Baris ke	Jumlah	Ø	$A_{S_{tul}}$ (mm ²)	A_s tot (mm ²)	Jarak (mm)	Luas × jarak (mm ³)
1	4	16	201,1429	804,5714	58	46665,14

- Letak titik berat tulangan (dari sisi luar beton)

$$y = \frac{46665,14}{804,5714} = 58 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif actual

$$d_{aktual} = h - y = 500 - 58 = 442 \text{ mm}$$

- Besar nilai M_{nb} B3

$$\begin{aligned}
 M_{gl} &= (A_s \times 1,25 f_y - A' s \times 1,25 f' s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + (A' s \times \\
 &\quad 1,25 f' s \times (d - d')) \\
 M_{gl}^- &= 103,118 \text{ kN.m} \\
 M_{gl}^+ &= 249,295 \text{ kN.m} \\
 M_{g \text{ total}} &= 352,414 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Dari ketiga nilai M_{nb} diatas maka ΣM_{nb} yang digunakan adalah sebesar 352,414 kN.m

- Menghitung nilai ΣM_{nc}

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P-M dengan SpColumn. M_{nc} merupakan jumlah kuat nominal dari kolom di muka sisi atas dan bawah Hubungan balok kolom dari hasil perhitungan terpasang akibat kombinasi beban berfaktor. Dari SpColumn didapatkan nilai $\phi M_{nc} = 2508,54$ kN.m

- Kontrol syarat Strong Column Weak Beam

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \times \Sigma M_{nb}$$

$$M_{nc} \geq 1,2 \times 352,414 \text{ kN.m}$$

$$2508,54 \text{ kN.m} \geq 422,897 \text{ kN.m (OK)}$$

4.5.3.9 Sambungan Lewatan

Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B. Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah $1,3 l_d$ (SNI 2847:2013 pasal 12.15.1). Besarnya l_d ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai $K_r = 0$ untuk penyederhanaan desain.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f_c}} \frac{\psi_t \times \psi_e \times \psi_s}{\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}} \right) \times d_b$$

(SNI 2847:2013 pasal 12.2.4)

Dimana:

$$\Psi_t = 1 \text{ (situasi lainnya)}$$

$$\Psi_e = 1 \text{ (tulangan tanpa pelapis)}$$

$$\Psi_s = 1 \text{ (tulangan } \geq D22 \text{)}$$

$\lambda = 1$ (beton biasa)

$d = 29 \text{ mm}$

nilai c_b merupakan nilai terkecil dari parameter dibawah ini:

$c_1 = 40 + 16 + 29/2 = 70,5 \text{ mm}$

$c_2 = 325,5 \text{ mm}$

$c \text{ pakai} = 70,5 \text{ mm}$

$$\left(\frac{cb + ktr}{b} \right) = 2,43(\text{menentukan}) \leq 2,5$$

$l_d = 686,165 \text{ mm}; 1.3 l_d = 892,015 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$

Digunakan sambungan lewatan sepanjang 900 mm.

4.5.3.10 Rekapitulasi Perencanaan Kolom

Dengan cara perhitungan yang sama dengan perencanaan kolom diatas, didapatkan hasil perencanaan kolom seperti pada Tabel 4.38

Tabel 4. 38 Rekapitulasi Perencanaan Kolom

Tipe	Tulangan Longitudi nal	Tulangan Transversal		Tulangan Torsi	Panjang Sambungan Lewatan (mm)
		Sendi Plastis	Non Sendi Plastis		
Kolom 85/85	12D29	5D16-125	5D16-150	-	900
Kolom 75/75	12D29	5D16-130	5D16-150	-	900
Kolom 65/65	12D29	5D16-130	5D16-150	-	900
Kolom 60/60	8D25	4D19-130	4D19-150	-	750

4.5.3.11 Hubungan Balok Kolom

1. Hubungan Balok-Kolom Tengah

a. Mengecek syarat panjang joint

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.2.3, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar.

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm}$$

$$20 \times db = 20 \times 16 = 320 \text{ mm} < 850 \text{ mm (OK)}$$

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan syarat panjang joint (Tabel 4.39)

Tabel 4. 39 Rekapitulasi Perhitungan Syarat Panjang Joint

Jenis Kolom		db	db×20	Ket
Letak	Dimensi (mm)	(mm)	(mm)	
Lobby – Lt. 7	850 850	16	320	OK
Lt.8 – Lt. 17	750 750	16	320	OK
Lt. 18 – Lt. 27	650 650	16	320	OK
Lt. 28 – Lt. 37	600 600	16	320	OK

b. Menentukan luas efektif joint

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1, A_j merupakan perkalian tinggi efektif dengan lebar joint efektif.

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 850 \text{ mm}$$

$$x = \frac{(850 - 300)}{2} = 275 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi joint} = 850 \text{ mm}$$

Lebar joint efektif merupakan nilai terkecil dari (Gambar 4.25):

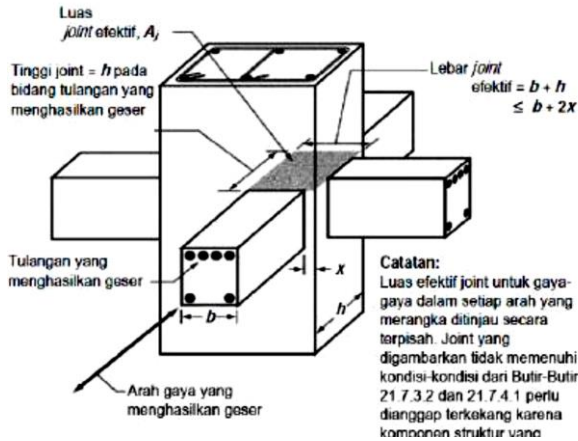
$$B + h = 300 + 850 = 1150 \text{ mm}$$

$$B + 2x = 300 + 2(275) = 850 \text{ mm (menentukan)}$$

$$A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint}$$

$$= 850 \text{ mm} \times 850 \text{ mm}$$

$$= 722500 \text{ mm}^2$$



Gambar 4. 25 Luas Joint Efektif

- c. Hitung tulangan transversal untuk confinement

Untuk joint interior, jumlah tulangan confinement setidaknya setengah dari tulangan confinement yang dibutuhkan pada ujung-ujung kolom. Spasi vertikal tulangan confinement ini diijinkan diperbesar hingga 150 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.7.3.2)

$$\frac{Ash}{S} = 0,5 \frac{Ash}{h} = 0,5 \frac{804,571}{110} = 3,657$$

Digunakan 4D16

$$Ash = 804,571 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{804,571}{3,657} = 220 \text{ mm}$$

Jadi, digunakan 4D16-220 mm.

- d. Menghitung gaya geser pada joint

- Menghitung M_g

Balok yang memasuki joint memiliki $M_{prb1} = 111,611 \text{ kN.m}$ dan $M_{prb2} = 158,195 \text{ kN.m}$. Pada joint, kekakuan kolom atas dan kolom bawah sama.

$$\begin{aligned}
 M_e &= 0,5 (M_{prb1} + M_{prb2}) \\
 &= 0,5 (111,61 + 158,195) \\
 &= 134,9025
 \end{aligned}$$

- Menghitung geser pada kolom atas

$$\begin{aligned}
 V_{sway} &= \frac{M_e + M_e}{l} \\
 &= \frac{134,9025 + 134,9025}{2,95} = 91,549 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.2.1, hitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal. Dalam perhitungan diasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25 fy.

1. Gaya tarik pada tulangan balok di tumpuan kiri

$$A_s \text{ balok kiri } 4D16 = 804,2477 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 T1 &= A_s \times 1,25 f_y \\
 &= 804,2477 \times 1,25(400) \\
 &= 402123,85 \text{ N} = 402,124 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan

$$A_s \text{ balok kanan } 4D16 = 804,2477 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 T2 &= A_s \times 1,25 f_y \\
 &= 804,2477 \times 1,25(400) \\
 &= 402123,85 \text{ N} = 402,124 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Menghitung gaya geser pada joint

$$\begin{aligned}
 V_j &= (T1 + T2) - V_{sway} \\
 &= (402,124 + 402,124) - 91,549 \\
 &= 712,699 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- e. Cek kuat geser joint

Berdasarkan SNI 2847:2014 pasal 21.7.4.1, untuk menghitung kuat geser joint yang dikekang di keempat sisinya sebagai berikut

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,7 \times \sqrt{40} \times 722500 \text{ mm}^2 = 7768135,072 \text{ N} \\
 &= 7768,135 \text{ kN} \\
 fV_n &= 0,75 \times 7768,135 \text{ kN} \\
 &= 5826,101 \text{ kN} > V_j = 712,699 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

4.5.4 Perencanaan Dinding Geser

Seluruh dinding geser menahan 75% gaya gempa yang disalurkan ke struktur bangunan. Perencanaan dinding geser dibedakan menjadi Dinding Geser Arah X dan dinding Geser Arah Y. Pada perencanaan dinding geser, akan dicontohkan perhitungan dinding geser arah Y

4.5.4.1 Data Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan memiliki data sebagai berikut:

Tebal dinding	: 40 cm
Tebal decking	: 40 mm
Tulangan	: 25 mm
d'	: 350,5 mm
Mutu tulangan (fy)	: 400 MPa
Mutu beton (f'c)	: 40 Mpa
Tinggi lantai	: 340 cm (maximum)
Lebar dinding	: 500 m (x) dan 942,5 cm (y)

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, yaitu:

Gaya aksial	: 28285,47 kN (X); 1838,47 kN (Y)
Momen	: 112619 kN.m (X); 2143,79 kN.m (Y)
Gaya geser	: 1608,79 kN (X); 1005,62 kN (Y)

4.5.4.2 Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari:

$$1. \quad 40 \text{ cm} \geq H / 25 = 340 / 25 = 13,6 \text{ cm (OK)}$$

$$2. \quad 40 \text{ cm} \geq L / 25 = 500 / 25 = 20 \text{ cm (OK)}$$

Jadi, ketebalan *shear wall* 400 mm sudah memenuhi persyaratan.

4.5.4.3 Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi $0,83 \times A_{cv} \sqrt{f_c'}$

$$Vu < 0,83 \times A_{cv} \sqrt{f_c'}$$

$$1608,79 < \frac{0,83 \times (400 \times 5000) \sqrt{40}}{1000}$$

$$1608,79 < 10498,7 \text{ kN (OK)}$$

4.5.4.4 Penulangan Geser Shearwall

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI 2847:2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu:

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2: bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi $0,17 \times A_{cv} \sqrt{f_c'}$

$$Vu < 0,17 \times A_{cv} \sqrt{f_c'}$$

$$1608,79 < \frac{0,17 \times (400 \times 5000) \sqrt{40}}{1000}$$

$$1608,79 < 2150,3 \text{ kN} \rightarrow 1 \text{ lapis tulangan.}$$

- b. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4: bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.

$$400 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \rightarrow 2 \text{ lapis tulangan}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan **dua lapis tulangan**.

4.5.4.5 Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut:

$$V_u < \phi V_n$$

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_n \times f_y]$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{121,6}{5} = 24,32 > 2 ; \text{ maka digunakan } \alpha_c = 0.17$$

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser 2 D19 ($A_s = 567,057 \text{ mm}^2$) dengan $s = 100 \text{ mm}$ pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2}{400 \times 100} = 0,01418$$

$$V_n = \frac{5000 \times 400 \times [0,17\sqrt{40} + 0,01418 \times 400]}{1000}$$

$$V_n = 13496,06 \text{ kN}$$

$$V_u = 1608,79 \text{ kN} > V_n = 12496,06 \text{ kN (OK)}$$

4.5.4.6 Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4: Rasio tulangan Vertikal (ρ_t) tidak boleh kurang dari 0,0025
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2: Rasio tulangan horizontal (ρ_t) tidak boleh kurang dari 0,0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal 2Ø19 ($A_s = 567,05 \text{ mm}^2$) dengan rasio tulangan:

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2}{400 \times 100} = 0,01418 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

4.5.4.7 Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3: Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari:

$$s \leq \frac{L_w}{5} = \frac{3400}{5} = 680 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 3 \times 40 \times 10 = 1200 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 100 mm **(OK)**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari:

$$s \leq \frac{L_w}{3} = \frac{3400}{3} = 1666,67 \text{ mm}$$

$$s \leq 3h = 3 \times 40 \times 10 = 1200 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 150 mm **(OK)**

4.5.4.8 Kontrol Komponen Batas

Komponen batas diperlukan apabila kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada shearwall lebih dari $0.2f'_c$.

SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.3

$$\frac{Mu}{W} + \frac{Pu}{Ac} > 0,2 \times \sqrt{f'_c}$$

$$\frac{10177809 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 5000^2 \times 400} + \frac{28285,47 \times 10^3}{5000 \times 400} > 0,2 \times \sqrt{40}$$

$$75,209 > 8 \text{ Mpa (Butuh komponen batas)}$$

Nilai δ_u adalah nilai displacement pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

$$c > \frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)} ; \text{dimana } \frac{\delta_u}{h_w} > 0,007$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{78,151}{121,6 \times 10^3} > 0,007$$

$0,0006426 < 0,007$ maka gunakan $\frac{\delta u}{hw} = 0,007$

$$c > \frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta u}{hw} \right)} = \frac{5000}{600 \times 0,007} = 1190,476 \text{ mm}$$

Dari output SpColumn didapatkan nilai C sebesar:

$1984 \text{ mm} > 1190,476 \text{ mm}$ (**Butuh Komponen Batas**)

Berdasarkan 2 syarat diatas disimpulkan bahwa penggunaan komponen batas diperlukan, maka berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, komponen batas harus dipasang secara horizontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang dari pada $(c - 0,1 \times l_w)$ dan $c/2$

- $C - 0,1 L_w = 1984 - 0,1(5000) = 1484 \text{ mm}$ (menentukan)
- $C/2 = 1984/2 = 992 \text{ mm}$

Digunakan jarak komponen pembatas $> 1484 \text{ mm} = \mathbf{1500 \text{ mm}}$

4.5.4.9 Rekapitulasi Perencanaan Dinding Geser

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti perhitungan diatas, didapatkan hasil perencanaan dinding geser sebagai berikut:

Tabel 4. 40 Rekapitulasi Perencanaan Shearwall

Tipe	Tulangan Geser Vertikal	Tulangan Geser Horizontal	Panjang Boundary Element
Arah X1	D25-150	D19-100	1600
Arah Y1	D25-150	D19-100	1100
Arah X2	D25-150	D19-100	-
Arah Y2	D25-150	D19-100	2000
Arah X3	D25-150	D19-100	2400
Arah Y3	D25-150	D19-100	3000

4.6 Perencanaan Pondasi

4.6.1 Umum

Pondasi adalah suatu struktur bangunan bawah yang berfungsi sebagai penopang bangunan di atasnya yang bertujuan untuk meneruskan beban ke tanah yang diterima oleh kolom secara bertahap dan merata.

Pondasi yang digunakan pada Apartemen Puncak CBD Wiyung direncanakan memakai pondasi tiang pancang berdasarkan brosur yang ada, dengan kedalaman tiang direncanakan 30 m. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Diameter	: 600 mm
Tebal	: 100 mm
Type	: C
Allowable axial	: 229,5 ton
Bending momen Crack	: 29 t.m
Bending Momen Ultimate	: 58 t.m
Berat	: 393 kg/m
Panjang	: 6-20 m

Pada perhitungan pondasi Apartemen CBD Wiyung dibagi menjadi beberapa tipe poer, diantaranya poer untuk titik kolom, shearwall dan penggabungan pile antara kolom dan shearwall yang dikarenakan jaraknya terlalu dekat. Untuk contoh perhitungan digunakan pile pada titik kolom (Tipe 1).

Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu ETABS, diambil output semua reaksi perletakan (dalam hal ini, nilai beban yang dimasukkan bukanlah beban ultimate, tetapi beban awal sebelum ditambah faktor beban). Berikut output dari joint reaction pada pondasi.

Tabel 4. 41 Beban pada Pondasi Tipe 1

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	-0,0002	0,2191	755,2849	-0,2398	0,0010
D+0,7Ey	0,4929	2,1288	601,6280	6,0963	1,6653
D+0,7Ex	1,9696	0,8765	598,2974	2,1116	6,6561
D+0,75L+0,525 Ey	0,3445	1,5823	719,1505	4,1628	1,1658
D+0,75L+0,525 Ex	1,3782	0,7003	716,8552	1,3560	4,6593
D+0,75L	-0,0002	0,2040	715,5637	-0,2232	0,0009
D	-0,0002	0,1587	596,3999	-0,1732	0,0006
0,6D+0,7Ey	0,4674	1,9333	363,0349	5,7632	1,5608
0,6D+0,7Ex	1,8381	0,7651	359,6196	2,0286	6,2119

Tabel 4. 42 Beban pada Pondasi Tipe 2

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	-0,0001	1,0488	612,3579	-1,0023	0,0010
D+0,7Ey	0,4788	2,5478	528,2455	5,3811	1,6315
D+0,7Ex	-2,2786	-0,3259	310,6104	-3,6612	-6,8567
D+0,75L+0,525 Ey	0,3347	2,2288	605,9078	3,3378	1,1422
D+0,75L+0,525 Ex	1,3396	1,4326	591,3877	0,6246	4,5656
D+0,75L	-0,0001	0,9758	583,1975	-0,9325	0,0009
D	-0,0001	0,7568	495,7161	-0,7229	0,0006
0,6D+0,7Ey	-0,6529	-1,3193	167,6382	-6,0211	-1,7112
0,6D+0,7Ex	1,3254	1,0505	317,7499	3,4463	6,1827

Tabel 4. 43 Beban pada Pondasi Tipe 3

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	-0,038	-15,195	-3918,985	-158,637	78,315
D+0,7Ey	-34,755	-54,399	-3643,376	-893,724	-3175,684
D+0,7Ex	6,945	-28,581	-3568,749	-401,443	-1289,193
D+0,75L+0,525 Ey	-24,343	-43,151	-3902,564	-688,587	-2193,214
D+0,75L+0,525 Ex	-97,241	-25,078	-3850,325	-343,990	-899,459
D+0,75L	-0,036	-14,911	-3820,927	-150,087	74,831
D	-0,031	-14,056	-3526,752	-124,439	64,380
0,6D+0,7Ey	-32,427	-46,087	-2224,900	-792,663	-2985,432
0,6D+0,7Ex	-129,625	-21,990	-2155,249	-333,201	-602,696

Tabel 4. 44 Beban pada Pondasi Tipe 4

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	0,709	6,324	1286,657	46,290	460,345
D+0,7Ey	2,014	4,883	1101,906	376,560	617,405
D+0,7Ex	6,355	1,196	1091,331	114,511	682,307
D+0,75L+0,525 Ey	1,686	0,752	1247,911	243,695	611,814
D+0,75L+0,525 Ex	4,725	3,503	1240,509	60,260	567,430
D+0,75L	0,673	5,897	1236,335	42,951	437,275
D	0,567	4,616	1085,368	32,933	368,063
0,6D+0,7Ey	1,691	6,096	666,656	362,434	453,557
0,6D+0,7Ex	5,742	0,422	656,786	117,855	575,476

Tabel 4. 45 Beban pada Pondasi Tipe 5

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	0,091	2,519	5845,717	136,359	7,131
D+0,7Ey	3,034	5,906	5421,527	479,547	287,252
D+0,7Ex	4,037	3,842	5261,978	330,008	230,024
D+0,75L+0,525 Ey	0,709	6,322	5851,873	220,569	402,063
D+0,75L+0,525 Ex	2,827	1,837	5740,189	110,674	322,016
D+0,75L	0,087	2,465	5677,334	132,257	7,822
D	0,074	2,304	5172,185	119,951	9,894
0,6D+0,7Ey	0,943	6,613	3336,030	451,575	268,267
0,6D+0,7Ex	2,260	4,354	3187,118	158,002	715,740

Tabel 4. 46 Beban pada Pondasi Tipe 6

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	0,008	0,091	51,382	0,080	0,007
D+0,7Ey	0,050	0,124	43,066	0,682	0,187
D+0,7Ex	0,218	0,028	44,488	0,372	0,763
D+0,75L+0,525 Ey	0,032	0,049	49,623	0,511	0,128
D+0,75L+0,525 Ex	0,149	0,019	50,618	0,294	0,531
D+0,75L	0,008	0,085	49,126	0,074	0,007
D	0,006	0,066	42,356	0,058	0,005
0,6D+0,7Ey	0,049	0,138	26,076	0,617	0,176
0,6D+0,7Ex	0,205	0,049	27,404	0,328	0,714

Tabel 4. 47 Beban pada Pondasi Tipe 7

Kombinasi	Hx	Hy	P	Mx	My
	t	t	t	t.m	t.m
D+L	0,065	0,031	53,088	0,032	0,060
D+0,7Ey	0,097	0,219	44,527	0,606	0,210
D+0,7Ex	0,244	0,121	44,689	0,294	0,709
D+0,75L+0,525 Ey	0,030	0,107	43,612	0,440	0,112
D+0,75L+0,525 Ex	0,127	0,048	44,164	0,241	0,456
D+0,75L	0,061	0,029	50,695	0,030	0,056
D	0,048	0,022	43,516	0,023	0,044
0,6D+0,7Ey	0,075	0,197	27,053	0,574	0,182
0,6D+0,7Ex	0,211	0,105	27,204	0,282	0,647

4.6.2 Daya Dukung Tiang Pancang

Data yang diperoleh dan yang digunakan dalam merencanakan pondasi adalah data tanah berdasarkan hasil Standard Penetration Test (SPT). Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s).

Disamping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu:

1. Daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri
2. Daya dukung tiang pancang dalam kelompok.

Daya dukung SPT dari lapangan tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan tiang pancang. Harus dilakukan koreksi terlebih dahulu terhadap data SPT asli. Metode perhitungan menggunakan cara dari *Terzaghi Bazaraa* 1960, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Koreksi terhadap muka air tanah

Khusus untuk tanah berpasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung, yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$:

a. $N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N-15)$

b. $N_1 = 0.6 N$

Kemudian pilih harga N_1 yang terkecil

2. Koreksi terhadap Overburden

Dari harga N_1 dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan tanah vertikal

a. $N_2 = 4N_1 / (1 + 0.4 P_o)$ untuk $P_o < 7.5$ ton

b. $N_2 = 4N_1 / (3.25 + 0.1 P_o)$ untuk $P_o > 7.5$ ton

Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$Q_p = q_p \cdot A_p$

$= (N_p \times K) \times A_p$

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang pondasi (terlampir)

K = Koefisien karakteristik tanah

$= 12 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lempung

$= 20 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berlempung

$= 25 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berpasir

$= 40 \text{ t/m}^2$, untuk tanah pasir

$= 40 \text{ t/m}^2$, untuk lempung sangat kaku (Poulos, H.G)

A_p = Luas penampang dasar tiang

$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,45^2 = 0,158 \text{ m}^2$

q_p = tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \times A_s$$

$$= \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s$$

Dimana:

q_s = tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m^2

N_s = harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan : $3 \leq N \leq 50$

A_s = keliling \times panjang tiang yang terbenam

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang yang berdiri sendiri adalah daya dukung tiang total dibagi dengan suatu angka keamanan.

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF}$$

Dimana: SF = safety factor = 3

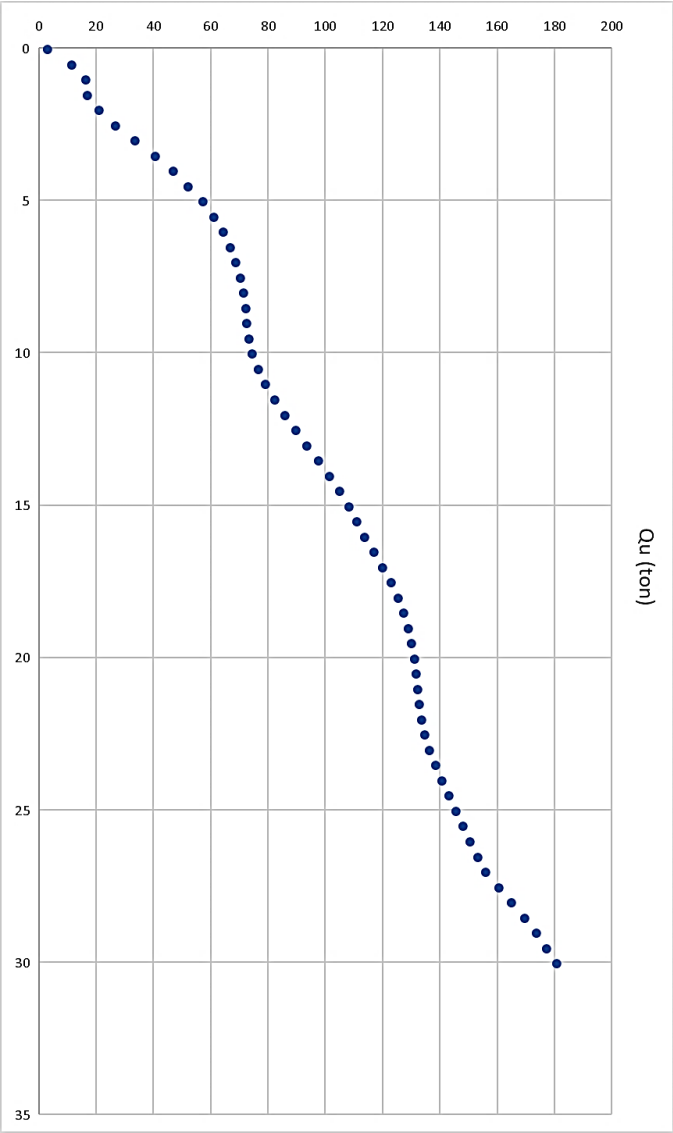
Berikut ini adalah tabel daya dukung tanah berdasarkan data tanah di daerah Wiyung, Surabaya Barat.

Tabel 4. 48 Daya Dukung Tanah

Qp								Qs				Qu (ton)
Kedalaman	N lap	N' koreksi	Np	K t/m2	α	Qp (ton)	Ns	Ns'	As (Luas selimut)	β	Qs (ton)	
m												
0	0	0	1,50	25	1,0	10,60	3	3,00	0,00	1,0	0,00	3,53
0,5	0	0	4,83	25	1,0	34,16	3	3,00	0,94	1,0	1,88	12,02
1	0	0	6,64	25	1,0	46,96	3	3,00	1,88	1,0	3,77	16,91
1,5	6	6	8,19	20	1,0	46,30	6	3,75	2,83	1,0	6,36	17,55
2	11	11	9,61	20	1,0	54,35	11	5,20	3,77	1,0	10,30	21,55
2,5	12	12	12,00	20	1,0	67,86	12	6,33	4,71	1,0	14,66	27,51
3	20	17,5	14,50	20	1,0	82,00	17,5	7,93	5,65	1,0	20,60	34,20

3,5	23	19	17,11	20	1,0	96,76	19	9,31	6,60	1,0	27,08	41,28
4	27	21	19,11	20	1,0	108,07	21	10,61	7,54	1,0	34,21	47,43
4,5	28	21,5	20,56	20	1,0	116,24	21,5	11,70	8,48	1,0	41,56	52,60
5	30	22,5	21,94	20	1,0	124,09	22,5	12,68	9,42	1,0	49,27	57,79
5,5	32	23,5	22,61	20	1,0	127,86	23,5	13,58	10,37	1,0	57,31	61,72
6	33	24	22,83	20	1,0	129,12	24	14,38	11,31	1,0	65,54	64,89
6,5	33	24	22,72	20	1,0	128,49	24	15,07	12,25	1,0	73,80	67,43
7	34	24,5	22,28	20	1,0	125,98	24,5	15,70	13,19	1,0	82,25	69,41
7,5	32	23,5	21,67	20	1,0	122,52	23,5	16,19	14,14	1,0	90,42	70,98
8	27	21	20,89	20	1,0	118,12	21	16,47	15,08	1,0	97,87	72,00
8,5	25	20	20,06	20	1,0	113,41	20	16,67	16,02	1,0	105,03	72,82
9	20	17,5	19,17	20	1,0	108,38	17,5	16,71	16,96	1,0	111,46	73,28
9,5	19	17	18,39	20	1,0	103,99	17	16,73	17,91	1,0	117,74	73,91
10	18	16,5	17,89	20	1,0	101,16	16,5	16,71	18,85	1,0	123,87	75,01
10,5	18	16,5	17,94	20	1,0	101,47	16,5	16,70	19,79	1,0	130,00	77,16
11	17	16	18,28	20	1,0	103,36	16	16,67	20,73	1,0	135,98	79,78
11,5	20	17,5	18,89	20	1,0	106,81	17,5	16,71	21,68	1,0	142,41	83,07
12	23	19	19,50	20	1,0	110,27	19	16,80	22,62	1,0	149,29	86,52
12,5	28	21,5	20,17	20	1,0	114,04	21,5	16,98	23,56	1,0	156,93	90,32
13	31	23	20,83	20	1,0	117,81	23	17,20	24,50	1,0	165,03	94,28
13,5	31	23	21,56	20	1,0	121,89	23	17,41	25,45	1,0	173,13	98,34
14	30	22,5	22,17	20	1,0	125,35	22,5	17,59	26,39	1,0	181,09	102,15
14,5	30	22,5	22,64	20	1,0	128,02	22,5	17,75	27,33	1,0	189,05	105,69
15	30	22,5	22,86	20	1,0	129,28	22,5	17,90	28,27	1,0	197,01	108,76
15,5	30	22,5	22,92	20	1,0	129,59	22,5	18,05	29,22	1,0	204,97	111,52
16	31	23	23,03	20	1,0	130,22	23	18,20	30,16	1,0	213,10	114,44
16,5	31,5	23,25	23,22	20	1,0	131,32	23,25	18,35	31,10	1,0	221,30	117,54
17	32	23,5	23,44	20	1,0	132,58	23,5	18,49	32,04	1,0	229,57	120,72
17,5	32	23,5	23,44	20	1,0	132,58	23,5	18,63	32,99	1,0	237,86	123,48

18	33	24	23,28	20	1,0	131,63	24	18,78	33,93	1,0	246,29	125,98
18,5	33,5	24,25	22,83	20	1,0	129,12	24,25	18,92	34,87	1,0	254,81	127,98
19	34	24,5	22,14	20	1,0	125,19	24,5	19,06	35,81	1,0	263,40	129,53
19,5	30	22,5	21,31	20	1,0	120,48	22,5	19,15	36,76	1,0	271,39	130,62
20	27	21	20,53	20	1,0	116,08	21	19,20	37,70	1,0	278,91	131,66
20,5	23	19	19,69	20	1,0	111,37	19	19,19	38,64	1,0	285,83	132,40
21	19	17	18,89	20	1,0	106,81	17	19,14	39,58	1,0	292,12	132,98
21,5	17	16	18,06	20	1,0	102,10	16	19,07	40,53	1,0	298,12	133,41
22	18	16,5	17,42	20	1,0	98,49	16,5	19,01	41,47	1,0	304,26	134,25
22,5	18	16,5	16,92	20	1,0	95,66	16,5	18,96	42,41	1,0	310,40	135,35
23	19	17	16,64	20	1,0	94,09	17	18,91	43,35	1,0	316,70	136,93
23,5	19	17	16,64	20	1,0	94,09	17	18,88	44,30	1,0	322,99	139,03
24	18,5	16,75	16,81	20	1,0	95,03	16,75	18,83	45,24	1,0	329,21	141,42
24,5	18	16,5	16,92	20	1,0	95,66	16,5	18,79	46,18	1,0	335,35	143,67
25	18	16,5	17,14	20	1,0	96,92	16,5	18,74	47,12	1,0	341,49	146,14
25,5	19	17	17,31	20	1,0	97,86	17	18,71	48,07	1,0	347,79	148,55
26	20	17,5	17,53	20	1,0	99,12	17,5	18,68	49,01	1,0	354,24	151,12
26,5	20	17,5	17,81	20	1,0	100,69	17,5	18,66	49,95	1,0	360,68	153,79
27	22	18,5	18,14	20	1,0	102,57	18,5	18,66	50,89	1,0	367,44	156,67
27,5	22	18,5	18,47	20	1,0	104,46	18,5	18,94	51,84	1,0	379,11	161,19
28	23	19	18,75	20	1,0	106,03	19	19,23	52,78	1,0	391,12	165,72
28,5	23,5	19,25	18,91	20	1,0	106,91	19,25	19,53	53,72	1,0	403,40	170,10
29	24	19,5	19,11	20	1,0	108,05	19,5	19,77	54,66	1,0	414,95	174,33
29,5	24	19,5	19,21	20	1,0	108,62	19,5	19,93	55,61	1,0	424,97	177,86
30	24	19,5	19,35	20	1,0	109,42	19,5	20,06	56,55	1,0	434,74	181,39



Gambar 4. 26 Grafik Daya Dukung Ijin Tiang Pancang Terhadap Kedalaman

Sehingga diambil kedalaman tiang pancang sebagai berikut:

Beban ijin aksial 1 tiang = 229,5 ton

Pada kedalaman 30m daya dukung tanah = 181,39 ton

Maka panjang tiang yang digunakan adalah kedalaman 30 m.

Sedangkan daya dukung ijin yang digunakan adalah diambil dari daya dukung bahan dan daya dukung tanah terkecil, yaitu 181,39 ton.

4.6.3 Pengaturan Jarak Antar Tiang Pancang

Untuk mengetahui jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dalam satu kolom adalah dengan membagi beban aksial dan daya dukung ijin satu tiang.

Terdapat beberapa tipe susunan tiang pancang berdasarkan satu berat kolom yang dipikulnya. Jumlah tiang pancang direncanakan jaraknya sesuai dengan yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan pada tiang pancang group sebesar 1 meter.

- Jarak antar tiang:
 $2 D \leq S \leq 3 D$
 $2 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$
 $120 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$
 Digunakan jarak antar tiang = 120 cm
- Jarak tepi tiang pancang:
 $1 D \leq S1 \leq 1,5 D$
 $1 \times 60 \leq S1 \leq 1,5 \times 60$
 $60 \text{ cm} \leq S1 \leq 90 \text{ cm}$
 Digunakan jarak tiang ke tepi = 60 cm

4.6.4 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang (Pmax)

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan:

$$P_{\max} = \frac{P}{n} + \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum X^2} + \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum Y^2} \leq P_{\text{ijintanah}} \text{ (1 tiang)}$$

Kontrol ini dilakukan pada tiap jenis susunan tiang pancang. Sebelumnya terlebih dahulu ditentukan jumlah tiang pancang dalam group dengan cara coba-coba dan sesuai dengan besar pile cap. Untuk beberapa contoh perhitungan dilakukan perhitungan dengan menggunakan group tiang pancang Tipe 1 dengan kombinasi beban 1D + 1L.

$$P = 755,28 \text{ ton}$$

$$N = 6 \text{ tiang}$$

$$M_x = M_x + (H_y \times t_{\text{poer}}) = -0,02482 \text{ t.m}$$

$$M_y = M_y + (H_x \times t_{\text{poer}}) = 0,000498 \text{ t.m}$$

$$X_{\max} = 0,6 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 1,2 \text{ m}$$

$$P_{\max} = \frac{755,28}{6} + \frac{0,000498}{1,44} + \frac{-0,02482}{8,64} \leq P_{\text{ijintanah}}$$

$$P_{\max} = 125,88 \text{ ton} \leq P_{\text{ijintanah}} = 181,39 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

Tabel 4. 49 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 1

Kebudayaan tiang (buah)	P/n (ton)	Xmax	Ymax	My . Xmax	$\sum x^2$	Mx . Ymax	$\sum y^2$	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max < Pijin
6	125,88	0,6	1,2	0,000	1,44	-0,025	8,64	125,878	181,39	OK
6	100,27	0,6	1,2	1,295	1,44	9,870	8,64	102,313	181,39	OK
6	99,72	0,6	1,2	5,175	1,44	3,586	8,64	103,725	181,39	OK
6	119,86	0,6	1,2	0,906	1,44	6,894	8,64	121,286	181,39	OK
6	119,48	0,6	1,2	3,622	1,44	2,468	8,64	122,277	181,39	OK
6	119,26	0,6	1,2	0,000	1,44	-0,023	8,64	119,258	181,39	OK
6	99,40	0,6	1,2	0,000	1,44	-0,017	8,64	99,398	181,39	OK
6	60,51	0,6	1,2	1,217	1,44	9,236	8,64	62,420	181,39	OK
6	59,94	0,6	1,2	4,830	1,44	3,352	8,64	63,679	181,39	OK

Tabel 4. 50 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 2

Kebutuhan tiang (buah)	P/n (ton)	Xmax	Ymax	My . Xmax	Σx^2	Mx . Ymax	Σy^2	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max < Pijin
4	153,09	0,6	0,6	0,001	1,44	0,028	1,44	153,109	181,39	OK
4	132,06	0,6	0,6	1,266	1,44	4,757	1,44	136,244	181,39	OK
4	77,65	0,6	0,6	-5,481	1,44	-2,392	1,44	72,185	181,39	OK
4	151,48	0,6	0,6	0,886	1,44	3,340	1,44	154,412	181,39	OK
4	147,85	0,6	0,6	3,543	1,44	1,234	1,44	151,165	181,39	OK
4	145,80	0,6	0,6	0,001	1,44	0,026	1,44	145,818	181,39	OK
4	123,93	0,6	0,6	0,000	1,44	0,020	1,44	123,943	181,39	OK
4	41,91	0,6	0,6	-1,418	1,44	-4,404	1,44	37,866	181,39	OK
4	79,44	0,6	0,6	4,505	1,44	2,698	1,44	84,440	181,39	OK

Tabel 4. 51 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 3

Kebutuhan tiang (buah)	P/n (ton)	X max	Y max	My . Xmax	Σx^2	Mx . Ymax	Σy^2	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max < Pijin
24	163,29	4,5	3,6	352,249	202,5	-625,796	155,52	161,007	181,39	OK
24	151,81	4,5	3,6	-14446,975	202,5	-3413,245	155,52	58,517	181,39	OK
24	148,70	4,5	3,6	-5770,117	202,5	-1548,088	155,52	110,249	181,39	OK
24	162,61	4,5	3,6	-9979,003	202,5	-2634,257	155,52	96,389	181,39	OK
24	160,43	4,5	3,6	-4485,148	202,5	-1328,647	155,52	129,738	181,39	OK
24	159,21	4,5	3,6	336,580	202,5	-593,993	155,52	157,048	181,39	OK
24	146,95	4,5	3,6	289,573	202,5	-498,582	155,52	145,172	181,39	OK
24	92,70	4,5	3,6	-13580,367	202,5	-3019,501	155,52	6,225	181,39	OK
24	89,80	4,5	3,6	-3295,447	202,5	-1278,688	155,52	65,306	181,39	OK

Tabel 4. 52 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 4

Kebutu han tiang (buah)	P/n (ton)	X ma x	Yma x	My . Xmax	$\sum x^2$	Mx . Ymax	$\sum y^2$	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max <Pij in
70	18,38	1,8	0,9	829,897	12,96	47,353	4,86	92,159	181,39	OK
70	15,74	1,8	0,9	1114,955	12,96	343,299	4,86	172,410	181,39	OK
70	15,59	1,8	0,9	1239,592	12,96	104,137	4,86	132,665	181,39	OK
70	17,83	1,8	0,9	1104,301	12,96	220,002	4,86	148,304	181,39	OK
70	17,72	1,8	0,9	1029,879	12,96	57,387	4,86	108,996	181,39	OK
70	17,66	1,8	0,9	788,307	12,96	43,963	4,86	87,534	181,39	OK
70	15,51	1,8	0,9	663,534	12,96	33,794	4,86	73,657	181,39	OK
70	9,52	1,8	0,9	819,447	12,96	331,677	4,86	140,999	181,39	OK
70	9,38	1,8	0,9	1046,193	12,96	106,449	4,86	112,011	181,39	OK

Tabel 4. 53 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 5

Kebut u han tiang (buah)	P/n (ton)	X ma x	Y max	My . Xmax	$\sum x^2$	Mx . Ymax	$\sum y^2$	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max <Piji n
51	114,62	2,1	5,4	15,167	17,64	749,941	174,96	119,768	181,39	OK
51	106,30	2,1	5,4	609,601	17,64	2621,445	174,96	155,845	181,39	OK
51	103,18	2,1	5,4	491,528	17,64	1802,790	174,96	141,344	181,39	OK
51	114,74	2,1	5,4	845,822	17,64	1225,211	174,96	169,695	181,39	OK
51	112,55	2,1	5,4	682,170	17,64	607,556	174,96	154,697	181,39	OK
51	111,32	2,1	5,4	16,608	17,64	727,500	174,96	116,420	181,39	OK
51	101,42	2,1	5,4	20,932	17,64	660,175	174,96	106,375	181,39	OK
51	65,41	2,1	5,4	565,341	17,64	2474,217	174,96	111,603	181,39	OK
51	62,49	2,1	5,4	1507,801	17,64	876,721	174,96	152,980	181,39	OK

Tabel 4. 54 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 6

Kebutuhan tiang (buah)	P/n (ton)	X max	Y max	My . Xmax	$\sum x^2$	Mx . Ymax	$\sum y^2$	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max < Pijin
4	12,85	0,9	0,9	0,014	3,24	0,154	3,24	12,897	181,39	OK
4	10,77	0,9	0,9	0,213	3,24	0,726	3,24	11,056	181,39	OK
4	11,12	0,9	0,9	0,883	3,24	0,360	3,24	11,506	181,39	OK
4	12,41	0,9	0,9	0,143	3,24	0,504	3,24	12,605	181,39	OK
4	12,65	0,9	0,9	0,612	3,24	0,281	3,24	12,930	181,39	OK
4	12,28	0,9	0,9	0,013	3,24	0,143	3,24	12,330	181,39	OK
4	10,59	0,9	0,9	0,010	3,24	0,112	3,24	10,627	181,39	OK
4	6,52	0,9	0,9	0,202	3,24	0,680	3,24	6,791	181,39	OK
4	6,85	0,9	0,9	0,828	3,24	0,339	3,24	7,211	181,39	OK

Tabel 4. 55 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang Tipe 7

Kebutuhan tiang (buah)	P/n (ton)	X max	Y max	My . Xmax	$\sum x^2$	Mx . Ymax	$\sum y^2$	P max (ton)	P ijin tanah (ton)	P max < Pijin
2	26,54	2,7	1,8	0,339	29,16	0,114	12,96	26,564	181,39	OK
2	22,26	2,7	1,8	0,831	29,16	1,485	12,96	22,407	181,39	OK
2	22,34	2,7	1,8	2,572	29,16	0,746	12,96	22,490	181,39	OK
2	21,81	2,7	1,8	0,383	29,16	0,985	12,96	21,895	181,39	OK
2	22,08	2,7	1,8	1,574	29,16	0,520	12,96	22,176	181,39	OK
2	25,35	2,7	1,8	0,317	29,16	0,106	12,96	25,366	181,39	OK
2	21,76	2,7	1,8	0,250	29,16	0,082	12,96	21,773	181,39	OK
2	13,53	2,7	1,8	0,692	29,16	1,387	12,96	13,657	181,39	OK
2	13,60	2,7	1,8	2,317	29,16	0,697	12,96	13,735	181,39	OK

4.6.5 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (η) menurut Seiler-Keeney Formula.

$$\eta = \left(1 - \frac{36S}{(75S^2 - 7)} \times \left(\frac{m + n - 2}{m + n - 1} \right) \right) + \frac{0,3}{m + n}$$

Dimana:

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam group

n = jumlah kolom tiang pancang dalam group

$$Q_L (\text{group}) = Q_L (1 \text{ tiang}) \times n \times \eta$$

Dimana $Q_L (\text{group})$ harus lebih besar dari P yang terjadi.

Tabel 4. 56 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 1

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	755,27	OK
D+0,7Ey	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	613,878	OK
D+0,7Ex	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	622,352	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	727,714	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	733,662	OK
D+0,75L	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	715,55	OK
D	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	596,389	OK
0,6D+0,7 Ey	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	374,519	OK
0,6D+0,7 Ex	181,39	6	3	2	1200	1,0825	1178,11	382,073	OK

Tabel 4. 57 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 2

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	612,437	OK
D+0,7Ey	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	544,977	OK
D+0,7Ex	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	288,74	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	617,647	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	604,658	OK
D+0,75L	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	583,271	OK
D	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	495,774	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	151,464	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	4	2	2	1800	1,0883	789,638	337,758	OK

Tabel 4. 58 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 3

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	3864,16	OK
D+0,7Ey	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	1404,41	OK
D+0,7Ex	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	2645,98	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	2313,35	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	3113,71	OK
D+0,75L	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	3769,15	OK
D	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	3484,13	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	149,403	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	24	6	4	1200	1,0567	4599,98	1567,35	OK

Tabel 4. 59 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 4

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	8383,76	OK
D+0,7Ey	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	10909,2	OK
D+0,7Ex	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	9894,11	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	11878,6	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	10828,8	OK
D+0,75L	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	8149,39	OK
D	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	7446,27	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	7812,19	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	70	8	10	1200	1,0449	13267,2	10708,6	OK

Tabel 4. 60 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 5

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	6108,17	OK
D+0,7Ey	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	7948,12	OK
D+0,7Ex	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	7208,57	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	8654,42	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	7889,55	OK
D+0,75L	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	5937,41	OK
D	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	5425,14	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	5691,74	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	51	4	9	1200	1,0506	9718,62	7801,97	OK

Tabel 4. 61 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 6

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	51,589	OK
D+0,7Ey	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	44,2253	OK
D+0,7Ex	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	46,0233	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	50,4216	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	51,7213	OK
D+0,75L	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	49,3185	OK
D	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	42,5072	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	27,1654	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	4	2	2	1200	1,095	794,476	28,8435	OK

Tabel 4. 62 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang Kelompok Tipe 7

Kombinasi	P ijin tanah (ton)	Jumlah tiang	m (kolom)	n (baris)	S (mm)	η	Ql (ton)	P ijin tiang (ton)	Ql (group) > P ijin
D+L	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	53,1287	OK
D+0,7Ey	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	44,8134	OK
D+0,7Ex	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	44,9807	OK
D+0,75L+0,525 Ey	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	43,79	OK
D+0,75L+0,525 Ex	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	44,3526	OK
D+0,75L	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	50,733	OK
D	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	43,5459	OK
0,6D+0,7Ey	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	27,3149	OK
0,6D+0,7Ex	181,39	2	4	2	1200	1,074	389,62	27,471	OK

4.6.6 Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Gaya lateral yang bekerja pada tiang dapat menyebabkan terjadinya defleksi dan momen. Oleh karena itu harus dilakukan kontrol terhadap beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Kontrol defleksi tiang :

$$\delta = Fd \left(\frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2.5 \text{ cm}$$

Dimana:

δ = defleksi yang terjadi

Fd = koefisien defleksi

P = Gaya lateral 1 tiang

T = *Relative stiffnes Factor*

Berikut ini contoh perhitungan kontrol kekuatan tiang pancang terhadap gaya lateral yang diambil dari tiang pancang kelompok Tipe 1 dengan kombinasi beban 1D+1L.

Jumlah tiang = 6

H_{\max} = 2,1913 t

H_{\max} 1 tiang = 0,3652 t

C_u = 0,612 kg/cm²

Q_u = 2 × C_u = 2 × 0,612 / 0,977 = 1,25 ton/ft²

Sehingga koefisien $f = 9 \text{ ton/ft}^3 = 9 \times 0,032 \text{ kg/cm}^2 = 0,288$

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$E = 4700 \sqrt{fc} = 4700 \sqrt{52} = 33892,182 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times (d_1^4 - d_2^4) = \frac{1}{64} \times \pi \times (60^4 - 40^4) \\ = 510508,81 \text{ cm}^4$$

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{33892,182 \times 10 \text{ kg/cm}^2 \times 510508,81}{0,288} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 226,85 \text{ cm} \\
 L &= 30 \text{ m} = 3000 \text{ cm (kedalaman tiang pancang)} \\
 T &= 226,85 \text{ cm} \\
 \frac{L}{T} &= \frac{3000}{226,85} = 13,22
 \end{aligned}$$

F_d (*deflection coefficient*), didapatkan dari grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile*, maka didapatkan $F_d = 0,93$

$$\delta = F_d \left(\frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2,5$$

$$\delta = 0,93 \left(\frac{0,3652 \times 1000 \text{ kg} \times 226,85^3}{33892182 \times 51050881} \right) \leq 2,5$$

$$\delta = 0,0229 \text{ cm} \leq 2,5 \text{ cm} \quad \textbf{(OK)}$$

2. Kontrol Momen

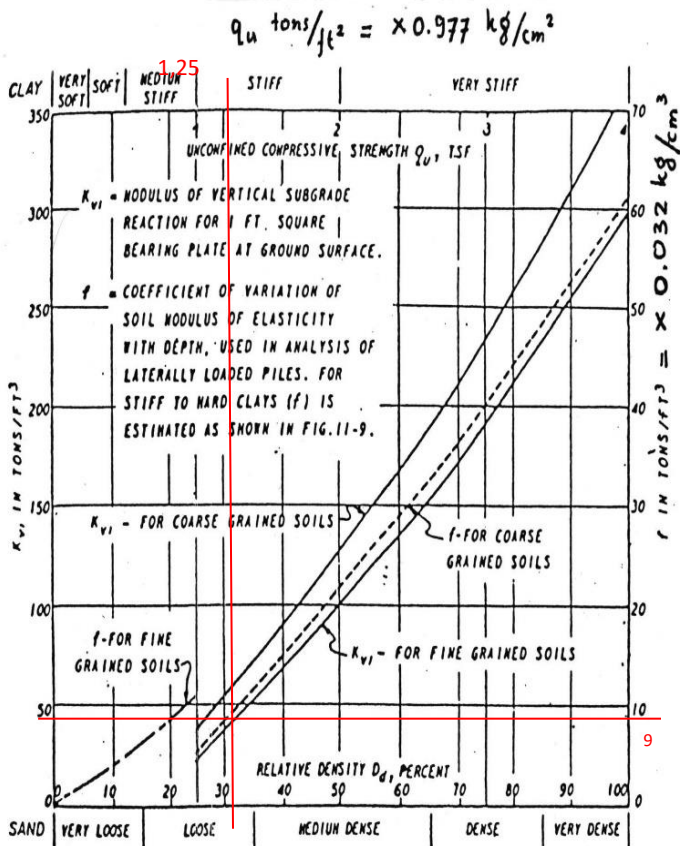
$$M_{\text{crack}} = 14,5 \text{ tm (tabel spesifikasi tiang pancang/(SF=2))}$$

$$L/T = 13,22$$

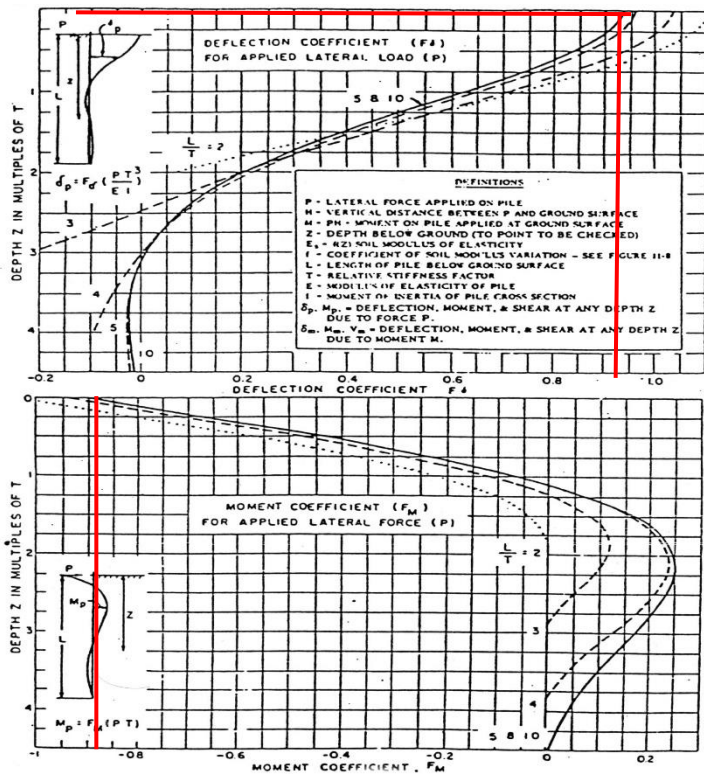
F_m = koefisien defleksi, didapatkan dari grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile* maka $F_m = 0,88$

$$\begin{aligned}
 M &= F_m (PT) \leq M_{\text{bending crack}} \\
 &= 0,88 \times (2,1913 \times 3,05267) \\
 &= 0,437 \text{ ton.m} \leq 14,5 \text{ ton.m} \quad \textbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral dan momen crack selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.63 – 4.69.



Gambar 4. 27 Immediate Settlement of Isolate Footing



Gambar 4. 28 Influence Value for Laterally Loaded Pile

Tabel 4. 63 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 1 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
6	D+L	0,219	0,014	OK	0,437	14,5	OK
6	D+0,7Ey	2,129	0,134	OK	4,250	14,5	OK
6	D+0,7Ex	1,970	0,124	OK	3,932	14,5	OK
6	D+0,75L+0,525 Ey	1,582	0,099	OK	3,159	14,5	OK
6	D+0,75L+0,525 Ex	1,378	0,086	OK	2,751	14,5	OK
6	D+0,75L	0,204	0,013	OK	0,407	14,5	OK
6	D	0,159	0,010	OK	0,317	14,5	OK
6	0,6D+0,7Ey	1,933	0,121	OK	3,859	14,5	OK
6	0,6D+0,7Ex	1,838	0,115	OK	3,669	14,5	OK

Tabel 4. 64 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 2 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
4	D+L	1,049	0,066	OK	2,094	14,5	OK
4	D+0,7Ey	2,548	0,160	OK	5,086	14,5	OK
4	D+0,7Ex	-0,326	-0,020	OK	-0,651	14,5	OK
4	D+0,75L+0,525 Ey	2,229	0,140	OK	4,449	14,5	OK
4	D+0,75L+0,525 Ex	1,433	0,090	OK	2,860	14,5	OK
4	D+0,75L	0,976	0,061	OK	1,948	14,5	OK
4	D	0,757	0,047	OK	1,511	14,5	OK
4	0,6D+0,7Ey	-0,653	-0,041	OK	-1,303	14,5	OK
4	0,6D+0,7Ex	1,325	0,083	OK	2,646	14,5	OK

Tabel 4. 65 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 3 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
24	D+L	-0,038	-0,002	OK	-0,075	14,5	OK
24	D+0,7Ey	-34,755	-2,181	OK	-69,380	14,5	OK
24	D+0,7Ex	6,945	0,436	OK	13,864	14,5	OK
24	D+0,75L+0,525 Ey	-24,343	-1,527	OK	-48,595	14,5	OK
24	D+0,75L+0,525 Ex	-25,078	-1,574	OK	-50,063	14,5	OK
24	D+0,75L	-0,036	-0,002	OK	-0,072	14,5	OK
24	D	-0,031	-0,002	OK	-0,061	14,5	OK
24	0,6D+0,7Ey	-32,427	-2,035	OK	-64,735	14,5	OK
24	0,6D+0,7Ex	-21,990	-1,380	OK	-43,899	14,5	OK

Tabel 4. 66 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 4 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
70	D+L	6,324	0,397	OK	12,625	14,5	OK
70	D+0,7Ey	4,883	0,306	OK	9,748	14,5	OK
70	D+0,7Ex	6,355	0,399	OK	12,686	14,5	OK
70	D+0,75L+0,525 Ey	1,686	0,106	OK	3,366	14,5	OK
70	D+0,75L+0,525 Ex	4,725	0,296	OK	9,432	14,5	OK
70	D+0,75L	5,897	0,370	OK	11,772	14,5	OK
70	D	4,616	0,290	OK	9,215	14,5	OK
70	0,6D+0,7Ey	6,096	0,383	OK	12,169	14,5	OK
70	0,6D+0,7Ex	5,742	0,360	OK	11,463	14,5	OK

Tabel 4. 67 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 5 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Tipe	Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
5	51	D+L	2,519	0,158	OK	5,029	14,5	OK
5	51	D+0,7Ey	5,906	0,371	OK	11,790	14,5	OK
5	51	D+0,7Ex	4,037	0,253	OK	8,059	14,5	OK
5	51	D+0,75L+0,525 Ey	6,322	0,397	OK	12,620	14,5	OK
5	51	D+0,75L+0,525 Ex	2,827	0,177	OK	5,644	14,5	OK
5	51	D+0,75L	2,465	0,155	OK	4,921	14,5	OK
5	51	D	2,304	0,145	OK	4,599	14,5	OK
5	51	0,6D+0,7Ey	6,613	0,415	OK	13,202	14,5	OK
5	51	0,6D+0,7Ex	4,354	0,273	OK	8,691	14,5	OK

Tabel 4. 68 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 6 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Tipe	Jumlah tiang	Kombinasi	H max (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	Mmax (t.m)	Mcrack (t.m) / (SF=2)	Mmax < Mcrack
6	4	D+L	0,091	0,006	OK	0,182	14,5	OK
6	4	D+0,7Ey	0,124	0,008	OK	0,248	14,5	OK
6	4	D+0,7Ex	0,218	0,014	OK	0,435	14,5	OK
6	4	D+0,75L+0,525 Ey	0,049	0,003	OK	0,097	14,5	OK
6	4	D+0,75L+0,525 Ex	0,149	0,009	OK	0,298	14,5	OK
6	4	D+0,75L	0,085	0,005	OK	0,169	14,5	OK
6	4	D	0,066	0,004	OK	0,132	14,5	OK
6	4	0,6D+0,7Ey	0,138	0,009	OK	0,276	14,5	OK
6	4	0,6D+0,7Ex	0,205	0,013	OK	0,410	14,5	OK

Tabel 4. 69 Kontrol Kekuatan Tiang Tipe 7 Terhadap Kekuatan Gaya Lateral

Tipe	Jumlah tiang	Kombinasi	H _{max} (ton)	δ (cm)	$\delta < 2.5$ cm	M _{max} (t.m)	M _{crack} (t.m) / (SF=2)	M _{max} < M _{crack}
7	2	D+L	0,065	0,004	OK	0,130	14,5	OK
7	2	D+0,7Ey	0,219	0,014	OK	0,437	14,5	OK
7	2	D+0,7Ex	0,244	0,015	OK	0,487	14,5	OK
7	2	D+0,75L+0,525 Ey	0,107	0,007	OK	0,213	14,5	OK
7	2	D+0,75L+0,525 Ex	0,127	0,008	OK	0,254	14,5	OK
7	2	D+0,75L	0,061	0,004	OK	0,122	14,5	OK
7	2	D	0,048	0,003	OK	0,096	14,5	OK
7	2	0,6D+0,7Ey	0,197	0,012	OK	0,393	14,5	OK
7	2	0,6D+0,7Ex	0,211	0,013	OK	0,422	14,5	OK

4.6.7 Perencanaan Poer

Untuk poer untuk kolom, poer direncanakan terhadap gaya geser ponds pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

Data perencanaan poer

Pu	= 969,98 ton
P _{max} (1 tiang)	= 125,0805 ton
Jumlah tiang pancang	= 6 buah
Mutu beton (f _{c'})	= 40 MPa
Mutu baja (f _y)	= 400 MPa
Diameter tulangan	= 29 mm
Selimut beton	= 60 mm
λ	= 1
α_s	= 40 (kolom interior)
Tinggi efektif (d)	=
dx	= 1000–60– ½ ×29 = 925,5 mm
dy	= 1000–60– ½ ×29–29 = 896,5 mm

4.6.7.1 Kontrol Geser Pons

1. Akibat Kolom

Poer harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada poer tersebut berdasarkan ketentuan SNI 2847-2013 Pasal 11.11.2.1.

Untuk pondasi tapak non- prategang (V_c) ditentukan berdasarkan SNI 2847:2012 pasal 11.11.2.1 nilai yang terkecil dari persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

$$V_{c3} = 0,333 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

dimana:

α_s = 20 untuk kolom sudut, 30 untuk kolom tepi, 40 untuk kolom interior

β = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek
= $3600/2400 = 1,5$

b_o = Keliling penampang kritis
= $2(b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)$
= $2(850 + 925,5) + 2(850 + 925,5)$
= 7102 mm

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1,5}\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 7102 \times 925,5 \\ &= 16489701,48 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 925,5}{7102} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 7102 \times 925,5 \\
 &= 24886166,36 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= 0,333 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
 &= 0,333 \times 1 \times \sqrt{40} \times 7102 \times 925,5 \\
 &= 13843035,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari ketiga nilai V_c diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser adalah 13843035,1 N = 1384303,51 kg.

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \times 1384303,51 \\
 &= 1038227,633 \text{ kg} \\
 &= 1038,228 \text{ ton} \\
 \phi V_c &= 1038,228 \text{ ton} > P_u - P_{pile} \\
 \phi V_c &= 1038,228 \text{ ton} > 969,896 - (125,87 \times 3) \\
 &= 1038,228 \text{ ton} > 214,626 \text{ ton} \quad \textbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons akibat kolom.

2. Akibat Pancang

$$\begin{aligned}
 \beta &= \text{rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek} \\
 &= 3600/2400 = 1,5 \\
 b_o &= (0,25 \times \pi \times (600 + 925,5)) \\
 &= 1198,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{c1} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
&= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1,5}\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1198,125 \times 925,5 \\
&= 2781853,267 \text{ N} \\
V_{c2} &= 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
&= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 925,5}{1198,125} + 2\right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 1198,125 \times 925,5 \\
&= 19149604,67 \text{ N} \\
V_{c3} &= 0,333 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \\
&= 0,333 \times 1 \times \sqrt{40} \times 1198,125 \times 925,5 \\
&= 2335354,129 \text{ N}
\end{aligned}$$

Dari ketiga nilai V_c diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser adalah 2335354,129 N = 233535,4129 kg.

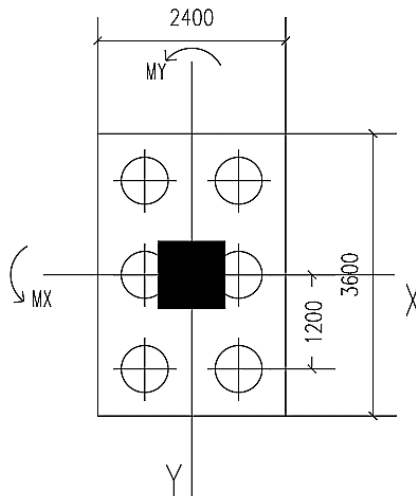
$$\begin{aligned}
\phi V_c &= 0,75 \times 233535,4129 \\
&= 175151,5597 \text{ kg} \\
&= 175,152 \text{ ton} \\
\phi V_c &= 175,152 \text{ ton} > P_{\max} \\
\phi V_c &= 175,152 \text{ ton} > 125,878 \text{ ton} \\
&= 175,152 \text{ ton} > 125,878 \text{ ton} \quad \textbf{(OK)}
\end{aligned}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons akibat pancang.

4.6.7.2 Penulangan Poer yang Menumpu Kolom

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

1. Penulangan Arah X



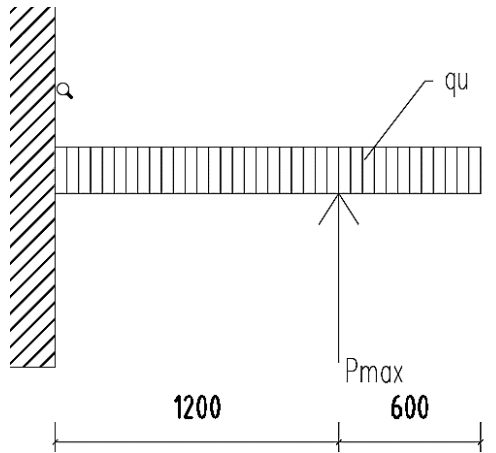
Gambar 4. 29 Pembebanan Poer Tipe 1

$$P_{\max} = 125,87 \text{ ton}$$

$$P = 3 \times 125,87 = 377,63 \text{ ton}$$

$$q = 3,6 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2,4 \text{ ton/m}^3 = 8,64 \text{ ton/m}$$

$$q_u = 8,64 \text{ ton/m} \times 1,2 = 10,368 \text{ ton/m}$$



Gambar 4. 30 Analisa Pile cap sebagai balok kantilever arah X

Momen yang bekerja:

$$M_u = P_{\max} (a_1) - \frac{1}{2} q_{ux} \cdot L^2$$

$$= (125,87 \times 1,2) - \left(\frac{1}{2} \times 10,368 \times \left(\frac{3,6}{2} \right)^2 \right)$$

$$= 436,366 \text{ t.m}$$

$$= 4363656910 \text{ N.mm}$$

$$d_x = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 = 925,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 - 29 = 896,5 \text{ mm}$$

- Mencari ρ_{\min}

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

tidak lebih kecil dari

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

digunakan $\rho_{\min} = 0,00395$

- Mencari β_1

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,85 - \left(\frac{40 - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,764$$

- Mencari ρ_b

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,03898 \end{aligned}$$

- Mencari ρ_{\max}

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,0292 \end{aligned}$$

dan tidak lebih besar dari

$$\rho_{\max} = 0,025$$

maka digunakan $\rho_{\max} = 0,025$

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4363656910}{3600 \times 925,5^2} = 1,415$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 1,415}{400}} \right) = 0,00361 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} \rightarrow \text{digunakan } \rho_{\min} = 0,00395$$

- Tulangan tarik yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,00395 \times 1000 \times 925,5 = 3658,36 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan D29 ($A_s = 660,786 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{3658,36}{660,786} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{6} = 166$$

Digunakan tulangan tarik D29–150 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 4405,238 \text{ mm}^2 > 3658,36 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{2} \times \rho \times b \times d_x \\ &= \frac{1}{2} \times 0,00395 \times 1000 \times 925,5 = 1827,863 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan D22 ($A_s = 380,133 \text{ mm}^2$)

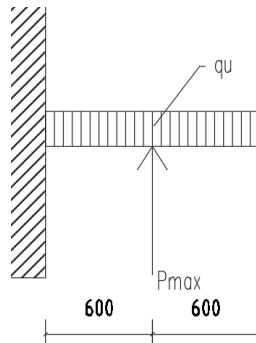
$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{1827,863}{380,133} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tekan D22–200 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{200} \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 > 1827,863 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

2. Penulangan Arah Y



Gambar 4. 31 Analisa Pilecap sebagai balok Kantilever arah Y

$$P_{\max} = 125,87 \text{ ton}$$

$$P = 2 \times 125,87 = 251,75 \text{ ton}$$

$$q = 2,4 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2,4 \text{ t/m}^3 = 5,76 \text{ ton/m}$$

$$q_u = 5,76 \text{ ton/m} \times 1,2 = 6,912 \text{ ton/m}$$

Momen yang bekerja:

$$M_u = P_{\max} (a_1) - \frac{1}{2} q_{ux} \cdot L^2$$

$$= 251,75 \times (0,6) - \frac{1}{2} \times 6,912 \times \left(\frac{2,4}{2} \right)^2$$

$$= 146,077 \text{ t.m}$$

$$= 1460773103 \text{ N.mm}$$

$$d_x = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 = 925,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 - 29 = 896,5 \text{ mm}$$

- Mencari ρ_{\min}

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

tidak lebih kecil dari

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

digunakan $\rho_{\min} = 0,00395$

- Mencari β_1

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,85 - \left(\frac{40 - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,764$$

- Mencari ρ_b

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,03898 \end{aligned}$$

- Mencari ρ_{\max}

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,0292 \end{aligned}$$

dan tidak lebih besar dari

$$\rho_{\max} = 0,025$$

maka digunakan $\rho_{\max} = 0,025$

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1460773103}{2400 \times 896,5^2} = 0,757$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,757}{400}} \right) = 0,00192 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} \rightarrow \rho = 0,00395$$

- Tulangan tarik yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \times b \times d_x \\ = 0,00395 \times 1000 \times 896,5 = 3543,727 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan D29 ($A_s = 660,786 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{3543,727}{660,786} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{6} = 166$$

Digunakan tulangan tarik D29–150 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{150} \\ = 4405,2381 \text{ mm}^2 > 3543,727 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$A_s = \frac{1}{2} \times \rho \times b \times d_x \\ = \frac{1}{2} \times 0,00395 \times 1000 \times 896,5 = 1770,59 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan D22 ($A_s = 380,133 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{1770,59}{380,133} = 5 \text{ buah}$$

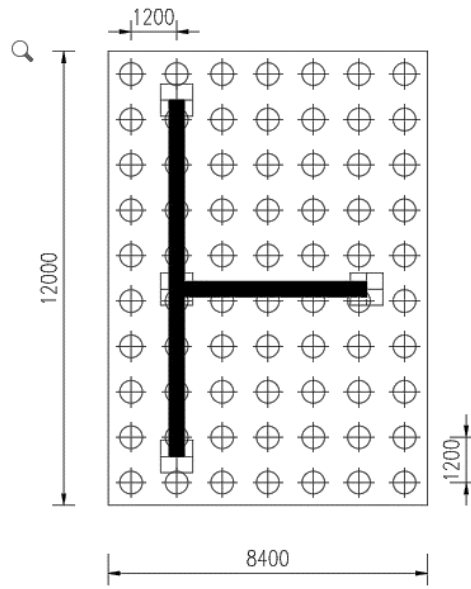
$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tekan D22–200 mm

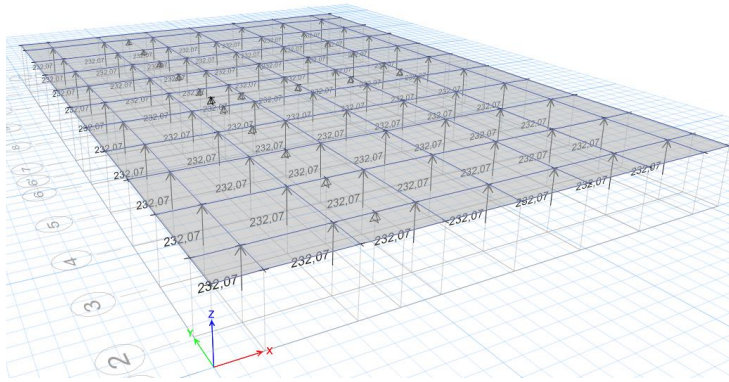
$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{200} \\ = 1900,66 \text{ mm}^2 > 1670,528 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

4.6.7.3 Penulangan Poer yang Menumpu Shearwall

Pada poer yang menumpu shearwall dilakukan permodelan di etabs untuk mendapatkan momen yang terjadi. Shearwall didesain sebagai perletakan dengan asumsi perletakan sendi, sedangkan tiang-tiang pancang yang ada didesain sebagai beban pada poer. Berikut contoh perhitungan penulangan poer tipe 4 yang menumpu shearwall.



Gambar 4. 32 Poer Tipe 4



Gambar 4. 33 Permodelan Poer SW pada Etabs

1. Penulangan arah X

Momen yang bekerja:

$$M_u = 2368,633 \text{ kN.m (ETABS)}$$

$$= 2368633000 \text{ N.mm}$$

$$d_x = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 = 925,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 - 29 = 896,5 \text{ mm}$$

- Mencari ρ_{\min}

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

tidak lebih kecil dari

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

digunakan $\rho_{\min} = 0,00395$

- Mencari β_1

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,85 - \left(\frac{40 - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,764$$

- Mencari ρ_b

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,03898 \end{aligned}$$

- Mencari ρ_{\max}

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,0292 \end{aligned}$$

dan tidak lebih besar dari

$$\rho_{\max} = 0,025$$

maka digunakan $\rho_{\max} = 0,025$

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{2368633000}{12000 \times 925,5^2} = 0,23$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,172}{400}} \right) = 0,00057 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} \rightarrow \text{digunakan } \rho_{\min} = 0,00395$$

- Tulangan tarik yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,00395 \times 1000 \times 925,5 = 3658,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan D29 ($A_s = 660,786 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{3658,36}{660,786} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{6} = 166 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tarik D29–150 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 4405,238 \text{ mm}^2 > 3658,36 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{2} \times \rho \times b \times d_x \\ &= \frac{1}{2} \times 0,00395 \times 1000 \times 925,5 = 1827,863 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan D22 ($A_s = 380,133 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{1827,863}{380,133} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tekan D22–200 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{200} \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 > 1827,863 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

2. Penulangan arah Y

Momen yang bekerja:

$$M_u = 1767,924 \text{ kN.m (ETABS)}$$

$$= 1767924000 \text{ N.mm}$$

$$d_x = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 = 925,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 - 60 - \frac{1}{2} 29 - 29 = 896,5 \text{ mm}$$

- Mencari ρ_{\min}

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{40}}{400} = 0,00395$$

tidak lebih kecil dari

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

digunakan $\rho_{\min} = 0,00395$

- Mencari β_1

$$\beta_1 = 0,85 - \left(\frac{f_c' - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,85 - \left(\frac{40 - 28}{7} \times 0,05 \right) = 0,764$$

- Mencari ρ_b

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{400} \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,03898 \end{aligned}$$

- Mencari ρ_{\max}

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,0292$$

dan tidak lebih besar dari

$$\rho_{\max} = 0,025$$

maka digunakan $\rho_{\max} = 0,025$

- Menentukan harga m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 40} = 11,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1767924000}{8400 \times 896,5^2} = 0,2618$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,765 \times 0,262}{400}} \right) = 0,000657 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} \rightarrow \rho = 0,00395$$

- Tulangan tarik yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,00395 \times 1000 \times 896,5 = 3543,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan Tulangan D29 ($A_s = 660,786 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{3543,727}{660,786} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{6} = 166 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tarik D29–150 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 4405,2381 \text{ mm}^2 > 3543,727 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$A_s = \frac{1}{2} \times \rho \times b \times d_x$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,00395 \times 1000 \times 896,5 = 1770,59 \text{ mm}^2$$

Digunakan Tulangan D22 ($A_s = 380,133 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{1770,59}{380,133} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan terpasang} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tekan D22–200 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \frac{1000}{200} \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 > 1670,528 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.6.8 Perencanaan Sloof

Struktur Sloof digunakan untuk membuat penurunan secara bersamaan pada pondasi atau sebagai pengaku yang menghubungkan antara pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi: berat sendiri sloof, beban aksial tekan atau Tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

Dimensi sloof

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$A_g = 120000 \text{ mm}^2$$

Mutu bahan

$$f_c' = 40 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. Utama} = \text{D19}$$

$$\text{Tul. Sengkang} = \text{D10}$$

$$D = 400 - (40 + 10 + \frac{1}{2} 19) = 340,5 \text{ mm}$$

Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan diaman beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangan pada kolom. Adapun beban sloof adalah

Berat sendiri sloof

$$\begin{aligned} q_u &= 1,4 \times 0,3 \times 0,4 \times 2400 \\ &= 403,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang sloof = 2,4 m

$$\begin{aligned} Mu_{\text{tump}} &= \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 = \frac{1}{8} \times 403,2 \times 2,4^2 \\ &= 290,304 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Lalu menggunakan program SpCol dengan memasukkan beban:

$$P = 10\% P_u = 10\% \times 7552,849 \text{ kN} = 755,2849 \text{ kN}$$

Penulangan Geser Sloof

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L = \frac{1}{2} \times 403,2 \times 2,4 = 483,84 \text{ kg} \\ &= 4838,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$d' = 400 - 40 - 10 - 19/2 = 340,5$$

$$V_c = \frac{bw \times d \times \sqrt{f_c'}}{6} = \frac{300 \times 340,5 \times \sqrt{40}}{6} = 107675,554 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c > V_u \text{ (tulangan geser tidak diperlukan)}$$

Jadi dipasang tulangan geser min:

$$S_{\text{maks}} = d/2 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

$$d/2 = 340,5/2 = 170,25 \text{ mm}$$

$$A_{V_{\text{min}}} = \frac{bw \times S}{3f_y} = \frac{300 \times 170,25}{3 \times 400} = 42,56 \text{ mm}^2$$

Dipasang sengkang 2D10-150 mm.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan secara keseluruhan dalam Modifikasi Perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai Atap, didapatkan beberapa kesimpulan:

1. Perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung memiliki dimensi struktur baik struktur sekunder dan struktur utama sebagai berikut:

Struktur Sekunder

- Balok Anak : 25/30 cm
- Balok Bordes : 15/20 cm
- Balok Lift : 30/50 cm
- Tebal Pelat
 - Pelat Lantai : 13 cm
 - Pelat Atap : 12 cm
- Dinding Geser
 - Arah X : 400 mm
 - Arah Y : 400 mm

Struktur Utama

- Balok Induk
 - B1 : 30/50 cm
 - B2 : 30/50 cm
 - B3 : 30/50 cm
 - B4 : 25/35 cm
 - B5 : 25/35 cm
- Balok Pratekan : 50/70 cm
- Kolom
 - Lantai Lobby : 85/85 cm
 - Lantai P1-P3 : 85/85 cm

- Lantai 1-7 : 85/85 cm
 - Lantai 8-17 : 75/75 cm
 - Lantai 18-27 : 65/65 cm
 - Lantai 28-37 : 60/60 cm
 - Pondasi :
 - Tipe 1 : 6 buah
 - Tipe 2 : 4 buah
 - Tipe 3 : 24 buah
 - Tipe 4 : 70 buah
 - Tipe 5 : 51 buah
 - Tipe 6 : 4 buah
 - Tipe 7 : 10 buah
 - Tiang Pancang : (Prestressed Concrete Spun Piles PT. Wijaya Karya Beton)
2. Hasil perhitungan gaya gempa menggunakan analisa respon spectrum menunjukkan bahwa Apartemen Puncak CBD Wiyung termasuk ke dalam kategori desain seismik D.
 3. Hasil analisa struktur apartemen telah memenuhi kontrol pembebanan, kontrol sistem ganda, kontrol drift, kontrol geser dasar, dan kontrol periode getar alami.
 4. Hasil gaya pratekan yang terjadi pada struktur primer balok pratekan adalah sejumlah 1840 kN, dengan kehilangan gaya pratekan sebesar 19,06%.
 5. Perencanaan struktur beton bertulang menggunakan peraturan SNI 2847:2013, dengan sistem gedung yang digunakan adalah Sistem Ganda.
 6. Perhitungan pada struktur pondasi telah memenuhi persyaratan dimensi dan kontrol geser pons akibat kolom maupun tiang pancang.
 7. Hasil analisa struktur telah dilakukan pada perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung dituangkan pada gambar teknik pada lampiran.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini diantaranya:

1. Perencanaan dimensi balok pratekan harus didesain seefektif mungkin, sehingga kehilangan gaya prategang yang terjadi dapat diminimalisasi.
2. Penempatan shearwall pada gedung harus diperhatikan agar tidak mengurangi nilai fungsi suatu ruang dan tetap memenuhi persyaratan akibat gempa.
3. Setiap perencanaan harus memperhitungkan metode pelaksanaan yang sesuai, agar dapat dilaksanakan dengan baik di lapangan.
4. Studi mengenai perencanaan dan pelaksanaan metode beton pratekan pada gedung perlu ditingkatkan dengan tetap mempertimbangkan berbagai aspek dalam dunia konstruksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- American Association State Highway and Transportation Officials. 2016. Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement. America.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727-2013). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013). Jakarta: BSN
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan 1983 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG)
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan 1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI)
- Ilham, Noer. 2008. Perhitungan Balok Prategang Jembatan Srandakan Kulon Progo. Yogyakarta: MNI-EC.
- Krisna, Raju. 1981. Prestressed Concrete. New Delhi: Tata McGraw-Hill Company Limited.
- Lyn dan Burns. 1999. *Design of Prestressed Concrete Structures*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

- Nawy, Edward G. 2000. *Prestressed Concrete*. USA: Prentice-Hall, Inc.
- PCI Industry Handbook Committee. 2004. *PCI Design Handbook 6th Edition*. USA: Precast Concrete Institute
- Soetoyo. 2014. Diktat Konstruksi Beton Pratekan. Jakarta: Gunadarma.
- Purwono, R. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. ITS Press, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tavio, dkk. 2009. Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. ITS Press, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wahyudi, Herman. 1999. Daya Dukung Pondasi Dalam, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Wahyuni, E., Aji, P., Iranata, D., dan Budiman, F. 2016. Study of Rapid Visual Screening of Buildings for High Potential Seismic Hazard According to Indonesian Standard. International Seminar on Science and Technology, Number 2.

LAMPIRAN

TESTANA ENGINEERING, Inc.		BORING LOG				BOREHOLE # : DB - 2					
PROJECT : Apartemen Puncak CBD, 43 lantai.		DATE OF TESTING : May 24 to 27, 2015		GROUND WATER LEVEL : unrecorded							
LOCATION : Jl. Kramat Kali, Menganti, Wiyung, Surabaya.		DEPTH : 30 m		GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m							
DEPTH, m.	SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST		STRENGTH TEST		ATTERBERG LIMITS		γ	Gs	eo	Sr
0	Sand, brown, little gravel, trace silt.										
1											
2	Clay and silt, brown, inorganic, trace sand, soft consistency.										
3											
4											
5	Clay and silt, grey, inorganic, trace to some sand, slightly cemented at some depth, very stiff to hard consistency.										
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15	Clay and silt, greenish grey, inorganic, trace sand, very stiff consistency.										
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25	Clay and silt, grey, inorganic, some sand, contains shells, very stiff consistency.										
26											
27											
28											
29											
30											
31	End of boring										
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											

<

NOTE :

0 to 10 % = Trace

10 to 20 % = Little

20 to 35 % = Some

35 to 50 % = And

= Undisturbed sample
 = SPT
 = Fairly undisturbed sample
c = Cohesion intercept, kg/cm²
φ = Internal friction angle, deg

SPT = Standard penetration test (blows / ft)
UU = Triaxial, Unconsolidated undrained
CU = Triaxial, Consolidated undrained
Vane = Vane shear test
UCT = Unconfined compression strength, kg/cm²
QT = Direct shear, quick test.

O = W_n = Moisture content, %
● = W_p = Plastic limit, %
△ = W_L = Liquid limit, %
γ = Bulk density, t/m³
Gs = Specific gravity
eo = Void ratio
Sr = Saturation, %



USA

CNS Automation, Inc.
14251 E. Firestone Blvd. La Mirada, CA 90638
Tel : 562-404-1909 Fax : 562-404-1902

CANADA

CNS Automation, Inc.
14251 E. Firestone Blvd. La Mirada, CA 90638
Tel : 562-404-1909 Fax : 562-404-1902

HYUNDAI ELEVATOR CO., LTD.

HEAD OFFICE & FACTORY

San 136-1, Ami-ri, Bubal-eup, Icheon-si, Gyeonggi-do 467-734, Korea
Tel : 82-2-3670-0653/0678 Fax : 82-2-3672-8763-4
www.hyundaielevator.co.kr

SEOUL OFFICE(INT'L SALES DIV.)

8F East Bldg, Hyundai Group Bldg., 1-7 Yeonji-dong, Jongno-gu, Seoul 110-754, Korea
Tel : 82-2-3670-0653/0678 Fax : 82-2-3672-8763-4

PASSENGER ELEVATORS - We reserve the right to change designs and specifications for the product development without prior notice.
Copyright © HYUNDAI ELEVATOR CO., LTD. All rights reserved. Printed in Korea.
CATALOG CODE : C-PELA-E0108/2012.12/1st Edition



PASSENGER ELEVATORS

U.S.A / CANADA

Moving solutions with safety, reliability and efficiency





| FRONT VIEW |



| REAR VIEW |



| ENTRANCE |

CAGE DESIGN

Ceiling	CD329B / Skylite 10T, Painted Steel(P022), LED Downlight
Wall	Stainless 2B Vibration, Stainless Mirror Trim(30mm), Entrance Column(Stainless 2B Vibration)
Handrail	1E / Stainless 1 Pipe + Bracket
Car Doors	Stainless 2B Vibration
Operating Panel	Push Button *Sub O.P. is optional
Car Lantern	CLSU-640T / Stainless Hairline(#4)
Flooring	Marble(By Others)

ENTRANCE

Door	Stainless 2B Vibration
Jamb	Stainless 2B Vibration / AJP150 Type
Hall Button	HPBU-230BK / Stainless Hairline(#4)
Indicator	HIPU-D310 / Stainless Hairline(#4)

Ceiling



CD219A
Painted Steel(P022), Skylite 10T



CD251A
Painted Steel(P022),
Acrylic, Convective Air Sterilization System



CD299B
Painted Steel(P023), LED Light,
LED Down Light, Skylite 10T



CD329B
Painted Steel(P022), Skylite 10T,
LED Down Light

Handrail

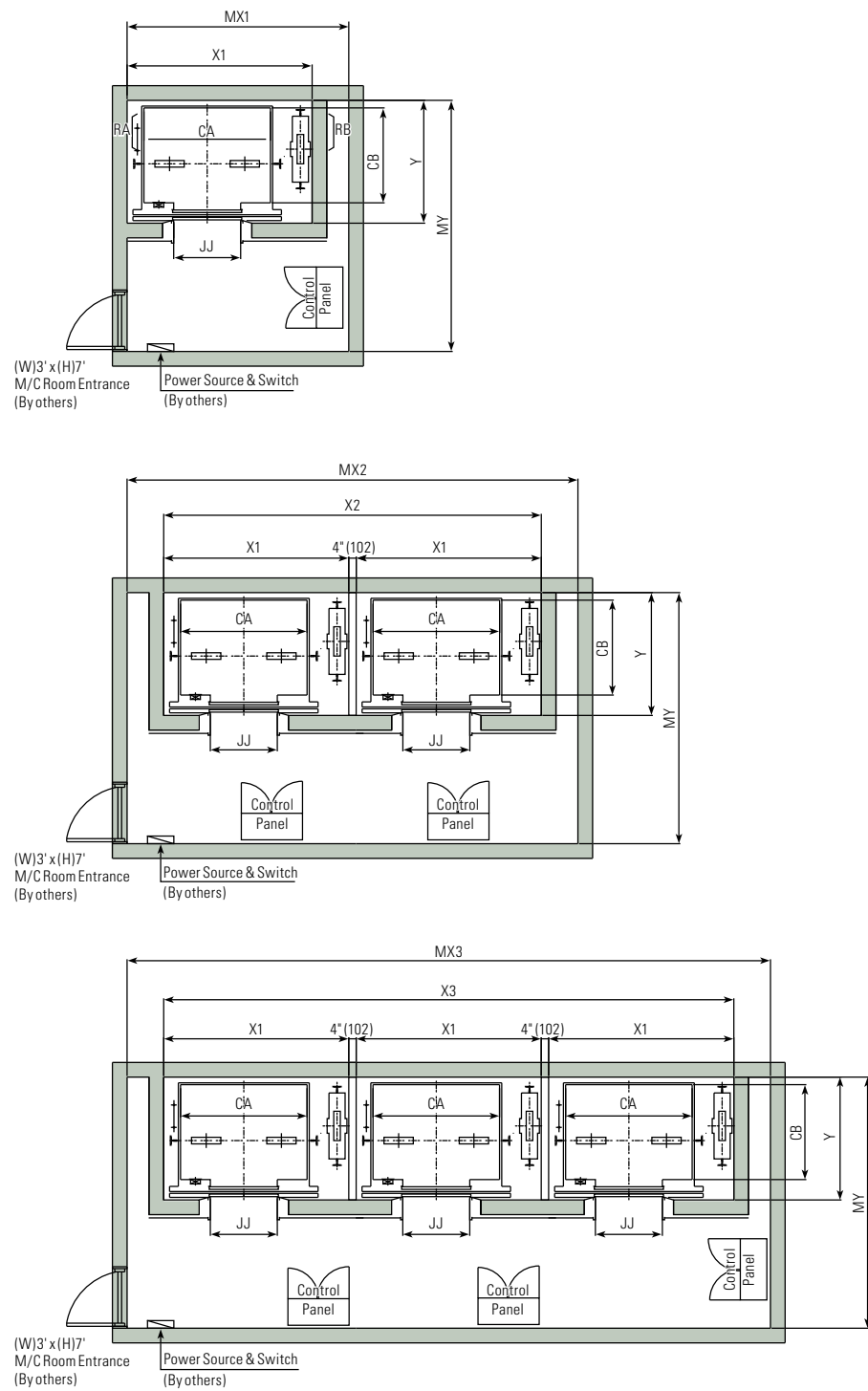


1E (1 Pipe Stainless)

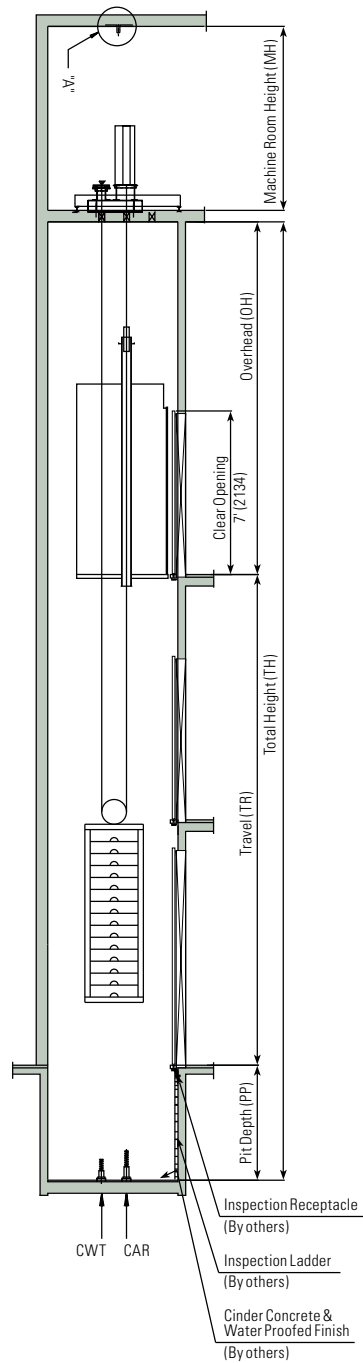


FL (Stainless Hairline Flat Bar)

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway



Standard Dimensions

Unit: feet-inch(mm)

Rated Speed fpm (mpm)	Capacity	Door Type	Clear Opening	Car Inside Clear Dimension		Minimum Hoistway Dimension					Minimum Machine Room Dimension			
	Lbs (kg)		OP (mm)	CA (mm)	CB (mm)	1 Car	2 Cars	3 Cars	Depth		1 Car	2 Cars	3 Cars	Depth
						X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)	Y (SO) (mm)	Y (CO) (mm)	MX1 (mm)	MX2 (mm)	MX3 (mm)	Y (mm)
150/200 (45/60)	2100 (953)	SS: Single Slide	3'-0" (914)	5'-8" (1727)	4'-3" (1295)	8'-3 1/2" (2527)	16'-11" (5156)	25'-6 1/2" (7785)	5'-6" (1676)	5'-7 3/16" (1707)	9'-3 1/2" (2832)	18'-11" (5766)	27'-6 1/2" (8395)	10'-6" (3200)
350 (105)														
150/200 (45/60)	2500 (1134)	SS: Single Slide	3'-6" (1067)	6'-8" (2032)	4'-9" (1448)	9'-3 1/2" (2832)	18'-11" (5766)	28'-6 1/2" (8700)	6'-0" (1829)	6'-1 1/4" (1860)	10'-3 1/2" (3137)	20'-11" (6376)	30'-6 1/2" (9309)	11'-0" (3353)
350 (105)	3000 (1361)					CO: Center Open								
150/200 (45/60)	3500 (1588)	CO: Center Open			5'-5" (1651)		9'-3 1/2" (2832)	18'-11" (5766)	28'-6 1/2" (8700)	6'-8" (2032)	6'-9 1/4" (2063)	10'-3 1/2" (3137)	20'-11" (6376)	30'-6 1/2" (9309)
350 (105)														
150/200 (45/60)	4000 (1814)	CO: Center Open	4'-0" (1219)	7'-8" (2337)		10'-3 1/2" (3137)	20'-11" (6376)	31'-6 1/2" (9614)			11'-3 1/2" (3442)	22'-11" (6985)	33'-6 1/2" (10224)	
350 (105)														

Notes : 1. Speed : 150/200fpm(45/60mpm), 350fpm(105mpm)
2. Maximum travel : 200'(200fpm) or 245'(350fpm)
3. Max number of stops : 20(200fpm) or 24(350fpm)
4. Car height 8'(2438mm) Standard, 9'(2743mm), 10' (3028mm) Optional
5. Entrance height : 7'(2134mm) Standard
6. Front and rear double door available ('CWT at side' configuration only)

Rated speed fpm (mpm)	Capacity Lbs (kg)	Overhead OH (mm)	Pit PP (mm)	Pit Reaction		M/C Room Reaction	
				CAR (kN)	CWT (kN)	RA (kN)	RB (kN)
150/200 (45/60)	2100 (953)	14'-1" [4293]	5'-3" [1600]	70	56	58	105
350 (105)		14'-7" [4445]	5'-6" [1676]	90	72		
150/200 (45/60)	2500 (1134)	14'-1" [4293]	5'-3" [1600]	82	65	60	113
350 (105)		14'-7" [4445]	5'-6" [1676]	104	83		
150/200 (45/60)	3000 (1361)	14'-1" [4293]	5'-3" [1600]	91	70	66	122
350 (105)		14'-7" [4445]	5'-6" [1676]	116	90		
150/200 (45/60)	3500 (1588)	14'-1" [4293]	5'-3" [1600]	86	65	70	129
350 (105)		14'-7" [4445]	5'-6" [1676]	127	97		
150/200 (45/60)	4000 (1814)	14'-1" [4293]	5'-3" [1600]	95	72	73	138
350 (105)		14'-7" [4445]	5'-6" [1676]	141	106		

Notes : 1. If occupied spaced exists below the hoistway, Consult Hyundai Sales Engineer.
2. All dimensions are based on 8'0" cage with 7'-0" entrance door height.
3. Higher cage Height may affect overhead(OH) dimension.
4. For seismic zones, add 2"(51mm) to dimension X1.
5. Max. Travel is 75m.

BROCHURE

THE PRECAST CONCRETE MANUFACTURER



Innovation and Trust



PC PILES

DESCRIPTION

Type of Piles	Prestressed Concrete Square Piles Prestressed Concrete Spun Piles Prestressed Concrete Spun Square Piles Prestressed Concrete Triangular Piles
System of Joints	Welded at steel joint plate
Type of Shoe	Concrete Pencil Shoe (Standard) for PC Spun Piles, Spun Square Pile & Square Piles Mamira Shoe (Special Order) for PC Spun Pile
Method of Driving	Dynamic Pile Driving : Diesel Hammer and Hydraulic Hammer Static Pile Driving : Hydraulic Static Pile Driver (Jacking Pile)

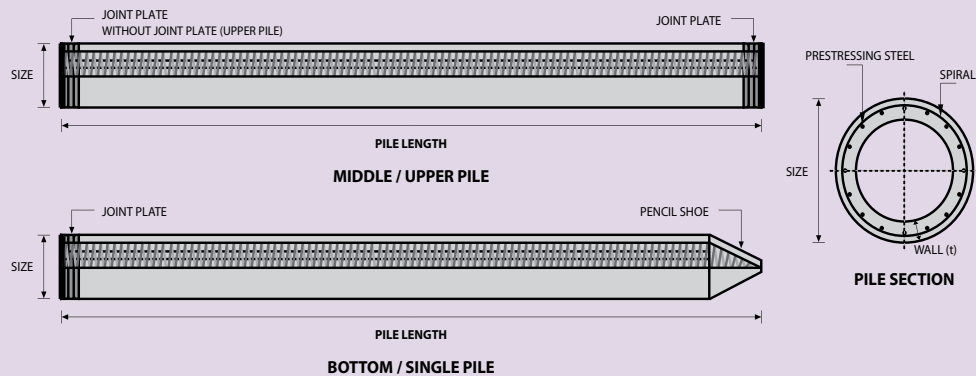
DESIGN & MANUFACTURING REFERENCE

Design	ACI 543R	Design, Manufactured and Installation of Concrete Piles Chapter-4 Structural design requirement for piles with no seismic loading (In case pile is consider to seismic loading, piles detail should re-design refer to ACI 543R Chapter-5)
	SNI 2847 - 2013	Indonesian Standard Code for Concrete
Manufacturing	WB - PRD - PS - 16	Production Manufacturing Procedure

MATERIAL SPECIFICATION

ITEM	REFERENCE	DESCRIPTION	SPECIFICATION
Aggregate	ASTM C 33 / C 33M-11a	Standard Specification for Concrete Aggregates	
Cement	SNI 2049 - 2015	Portland Cement	Standard Product Type I Special Order : Type II or V
Admixture	ASTM C 494 / C 494M - 99a	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : High Range Water Reducing Admixture
Concrete	SNI 2834 - 2000 SNI 2493 - 2011	Concrete Mix Design Making and Curing Concrete Sample	
PC Strand	ASTM A 416 / A 416M - 99	Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete	Grade 270 (Low Relaxation Type)
PC Wire	JIS G 3536 - 2014	Uncoated Stress-Relieved Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete	SWPD1 (Deformed Wire Type)
PC Bar	JIS G 3137 - 2008	Small Size-Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	Grade D - Class 1 - SBPD 1275/1420
Rebar	SNI 2052 - 2014	Reinforcement Steel for Concrete	Steel Class : BjTS 40 (Deformed) Steel Class : BjTP 24 (Round)
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2011	Low Carbon Steel Wires	SWM-P (Round Type) Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric.
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steels for General Structure	SS400 (Tensile Strength 400 N/mm2) Applicable steel product for steel plates and sheets, steel strip in coil, sections, flats and bars.
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 900	Structural Welding Code Steel	AWS A5.1/E6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent.

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack *	Break			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

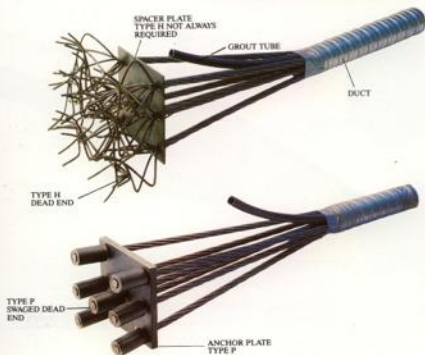
Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

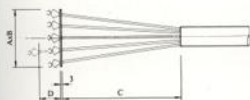
**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

**) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

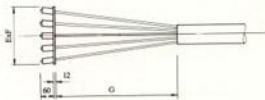
DEAD END ANCHORAGE



VSL DEAD END ANCHORAGES TYPE H-TYPE P



Dead End Anchorage Type H

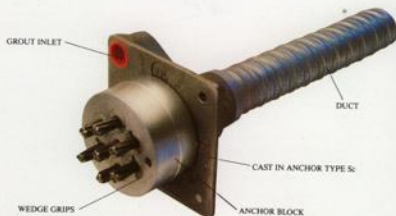


Dead End Anchorage Type P

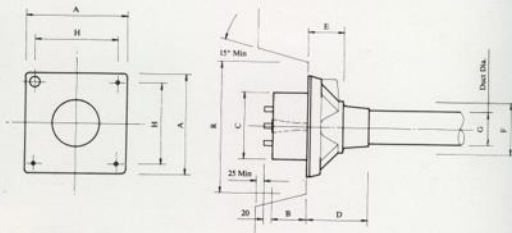
VSL TYPE H 12.7mm	Dimensions (mm)			
	A	B	C	D
3H	125	125	600	-
4H	125	125	600	-
7H	175	150	600	-
12H	300	250	1000	150
19H	375	300	1000	150
22H	400	300	1000	150
27H	430	400	1000	150
31H	450	425	1000	150
37H	525	450	1100	150
42H	600	450	1100	150
48H	645	450	1200	150
53H	700	500	1200	150

VSL TYPE P 12.7mm	Dimensions (mm)		
	E	F	G
3P	100	100	100
4P	120	120	130
7P	150	150	250
12P	200	200	350
19P	250	250	500
22P	300	250	500
27P	300	300	650
31P	350	300	650
37P	375	350	850
42P	375	375	850
48P	400	400	1000
53P	425	425	1000

STRESSING ANCHORAGE



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE S_c



VSL TYPE	A	B	C	Dimensions (mm)					H	R	Characteristic Load (kN)
	D	E	F	G							
3Sp	135	54	90	106	16	56	39	116	250	552	
4Sp	150	54	90	150	18	64	50	125	250	736	
7Sc	165	54	120	100	60	85	50	125	290	1290	
12Sc	215	54	160	160	85	126	69	150	360	2210	
19Sc	265	66	180	210	110	145	84	200	360	3500	
22Sc	290	77	200	215	140	150	90	230	360	4050	
27Sc	315	92	220	250	160	175	96	250	500	4970	
31Sc	315	92	230	250	160	175	105	250	500	5700	
37Sc	370	107	250	320	160	200	115	305	900	6810	
42Sc	390	112	290	340	160	215	118	325	900	7730	
48Sc	430	122	300	340	160	235	135	365	900	8830	
53Sc	465	142	320	340	160	250	135	400	900	10120	

NOTE: Dimension R does not allow for lift off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.
Refer VSL office for details. Plate type a: chockages (Type Sp) also available on request.

MULTISTRAND POST-TENSIONING



STRAND PROPERTIES - TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 6.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm ²	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180-205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	x 10 ³

TENDON PROPERTIES

STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
	4	736	51
5-7	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
	12	2210	69
5-19	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
5-22	20	3680	90
	21	3860	90
	22	4050	90
5-27	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
	27	4970	96
5-31	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
5-37	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
5-42	37	6810	115
	38	6990	118
	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
5-48	42	7730	118
	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
	46	8460	127
5-55	47	8650	127
	48	8830	127
	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
5-55	52	9570	135
	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
6-7	5	1250	69
	6	1500	69
	7	1750	69
6-12	8	2000	84
	9	2250	84
	10	2500	84
	11	2750	84
	12	3000	84
6-19	13	3250	96
	14	3500	96
	15	3750	96
	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
6-22	20	5000	105
	21	5250	105
	22	5500	105
6-27	23	5750	115
	24	6000	115
	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
6-31	28	7000	118
	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
6-37	32	8000	127
	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
6-42	36	9000	135
	37	9250	135
	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
6-48	41	10250	135
	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
6-55	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
	49	12250	154
	50	12500	154
6-55	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
	54	13500	154
	55	13750	154

Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.

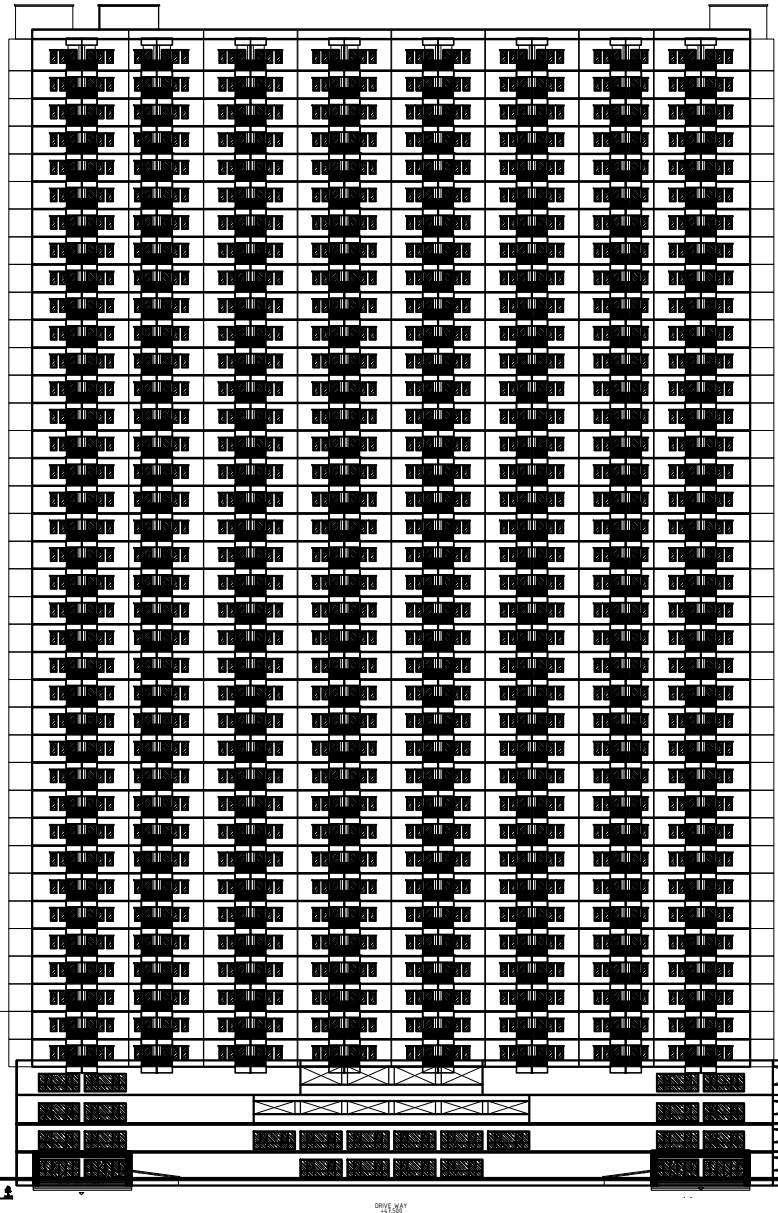
2. Duct diameters are for corrugated steel duct.

3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal

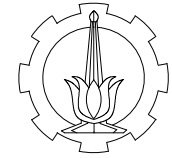
4. Corrugated polyethylene PT-PlusTM duct is also available, refer page 14.

5. For special applications other strand and tendon capacities are available.

LT. ATAP +121.60
LT. 37 +118.20
LT. 36 +115.25
LT. 35 +112.30
LT. 34 +109.35
LT. 33 +106.40
LT. 32 +103.45
LT. 31 +100.50
LT. 30 +97.55
LT. 29 +94.60
LT. 28 +91.65
LT. 27 +88.70
LT. 26 +85.75
LT. 25 +82.80
LT. 24 +79.85
LT. 23 +76.90
LT. 22 +73.95
LT. 21 +71.00
LT. 20 +68.05
LT. 19 +65.10
LT. 18 +62.15
LT. 17 +59.20
LT. 16 +56.25
LT. 15 +53.30
LT. 14 +50.35
LT. 13 +47.4
LT. 12 +44.45
LT. 11 +41.50
LT. 10 +38.55
LT. 9 +35.60
LT. 8 +32.65
LT. 7 +29.70
LT. 6 +26.75
LT. 5 +23.80
LT. 4 +20.85
LT. 3 +17.90
LT. 2 +14.95
LT. 1 +12.00
LT. P3 +9.00
LT. P2 +6.00
LT. P1 +3.00
LOBBY 0.00



TAMPAK DEPAN APARTEMEN
SKALA 1:800



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

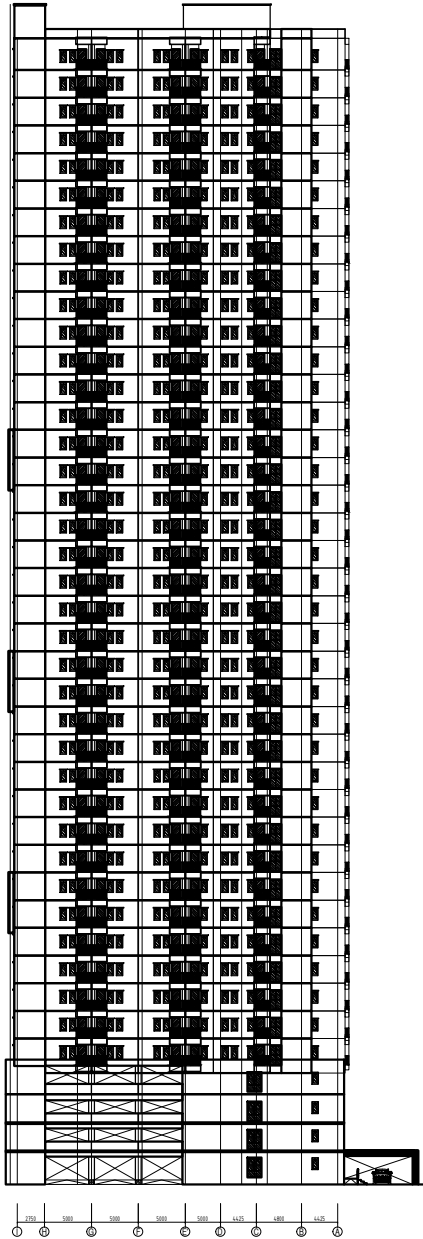
03111440000115

JUDUL GAMBAR

TAMPAK DEPAN APARTEMEN
PUNCAK CBD

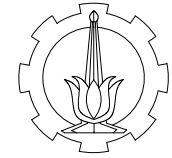
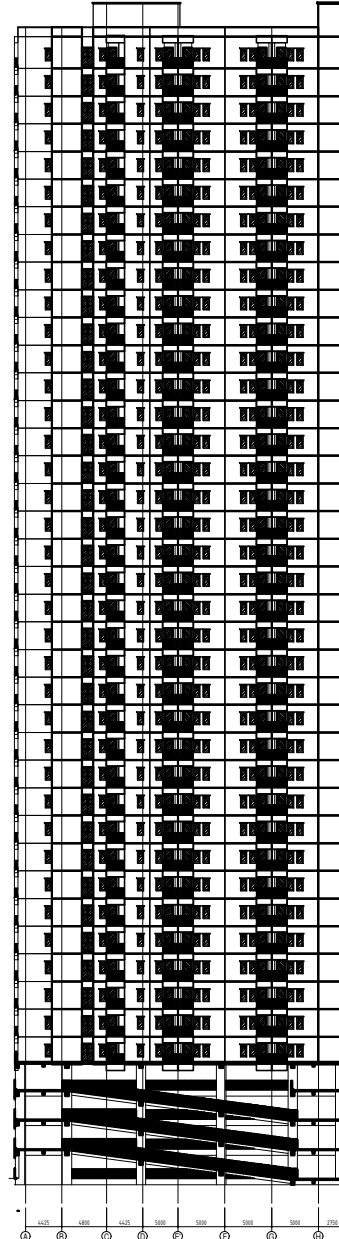
SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 800	01	31

LT. ATAP +121.60
 LT. 37 +118.20
 LT. 36 +115.25
 LT. 35 +112.30
 LT. 34 +109.35
 LT. 33 +106.40
 LT. 32 +103.45
 LT. 31 +100.50
 LT. 30 +97.55
 LT. 29 +94.60
 LT. 28 +91.65
 LT. 27 +88.70
 LT. 26 +85.75
 LT. 25 +82.80
 LT. 24 +79.85
 LT. 23 +76.90
 LT. 22 +73.95
 LT. 21 +71.00
 LT. 20 +68.05
 LT. 19 +65.10
 LT. 18 +62.15
 LT. 17 +59.20
 LT. 16 +56.25
 LT. 15 +53.30
 LT. 14 +50.35
 LT. 13 +47.4
 LT. 12 +44.45
 LT. 11 +41.50
 LT. 10 +38.55
 LT. 9 +35.60
 LT. 8 +32.65
 LT. 7 +29.70
 LT. 6 +26.75
 LT. 5 +23.80
 LT. 4 +20.85
 LT. 3 +17.90
 LT. 2 +14.95
 LT. 1 +12.00
 LT. P3 +9.00
 LT. P2 +6.00
 LT. P1 +3.00
 LOBBY +0.00



TAMPAK SAMPING APARTEMEN
 SKALA 1:800

LT. ATAP +121.60
 LT. 37 +118.20
 LT. 36 +115.25
 LT. 35 +112.30
 LT. 34 +109.35
 LT. 33 +106.40
 LT. 32 +103.45
 LT. 31 +100.50
 LT. 30 +97.55
 LT. 29 +94.60
 LT. 28 +91.65
 LT. 27 +88.70
 LT. 26 +85.75
 LT. 25 +82.80
 LT. 24 +79.85
 LT. 23 +76.90
 LT. 22 +73.95
 LT. 21 +71.00
 LT. 20 +68.05
 LT. 19 +65.10
 LT. 18 +62.15
 LT. 17 +59.20
 LT. 16 +56.25
 LT. 15 +53.30
 LT. 14 +50.35
 LT. 13 +47.4
 LT. 12 +44.45
 LT. 11 +41.50
 LT. 10 +38.55
 LT. 9 +35.60
 LT. 8 +32.65
 LT. 7 +29.70
 LT. 6 +26.75
 LT. 5 +23.80
 LT. 4 +20.85
 LT. 3 +17.90
 LT. 2 +14.95
 LT. 1 +12.00
 LT. P3 +9.00
 LT. P2 +6.00
 LT. P1 +3.00
 LOBBY +0.00



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING APARTEMEN
PUNCAK CBD

SKALA

NO. GMB

JUMLAH

1 : 800

02

31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

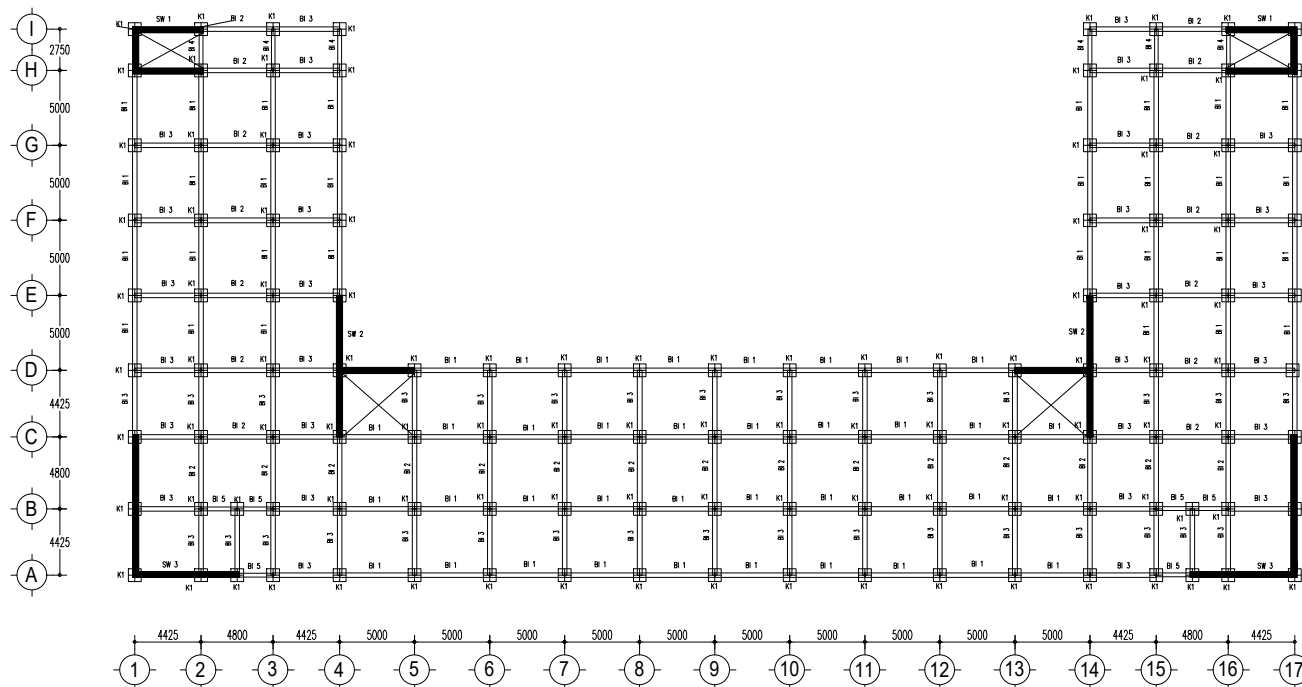
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

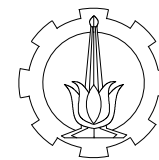
DENAH PEMBALOKAN DAN
KOLOM LOBBY - LT.7

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 500	03	31



DENAH LOBBY-LANTAI 7
SKALA 1:500

DIMENSI BALOK DAN KOLOM			
LOBBY-LT.7			
B1	300 x 500	B4	250 x 350
B2	300 x 500	B5	250 x 350
B3	300 x 500	K1	850 x 850



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

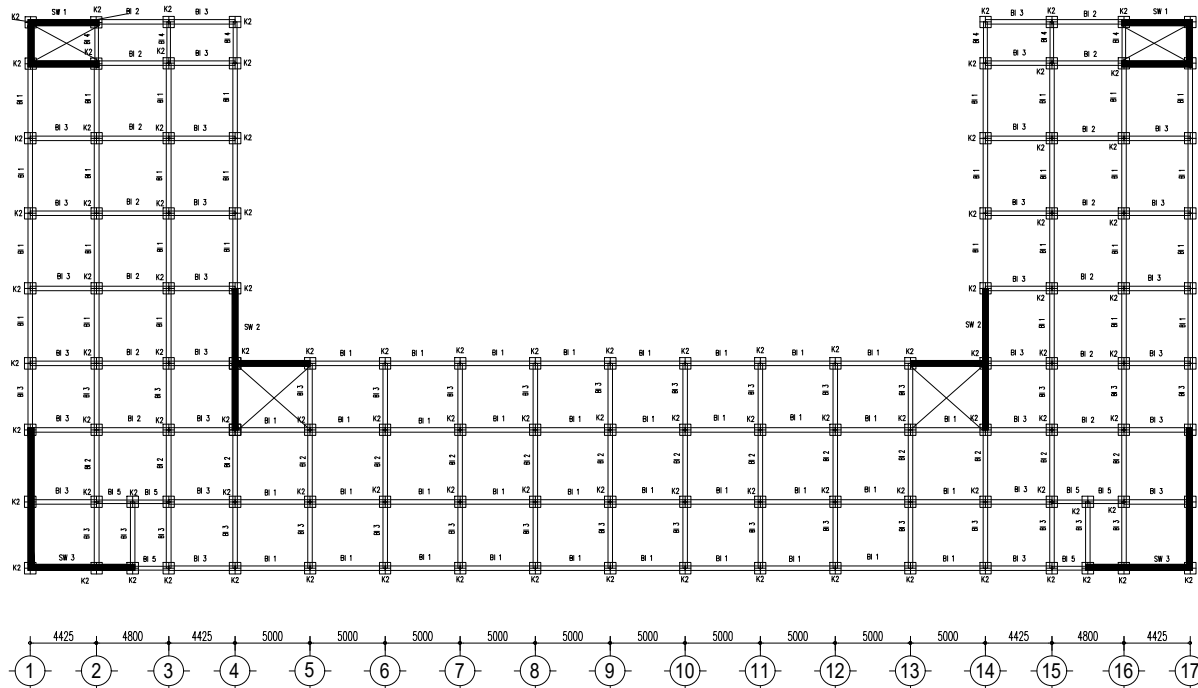
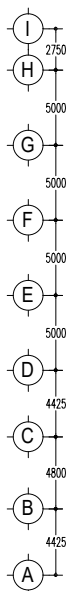
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN DAN
KOLOM LT.8 - LT.17

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 500	04	31



DENAH LANTAI 8-17
SKALA 1:500

DIMENSI BALOK DAN KOLOM					
LANTAI 8-17					
B1	300 x 500	B4	250 x 350		
B2	300 x 500	B5	250 x 350		
B3	300 x 500	K2	750 x 750		



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

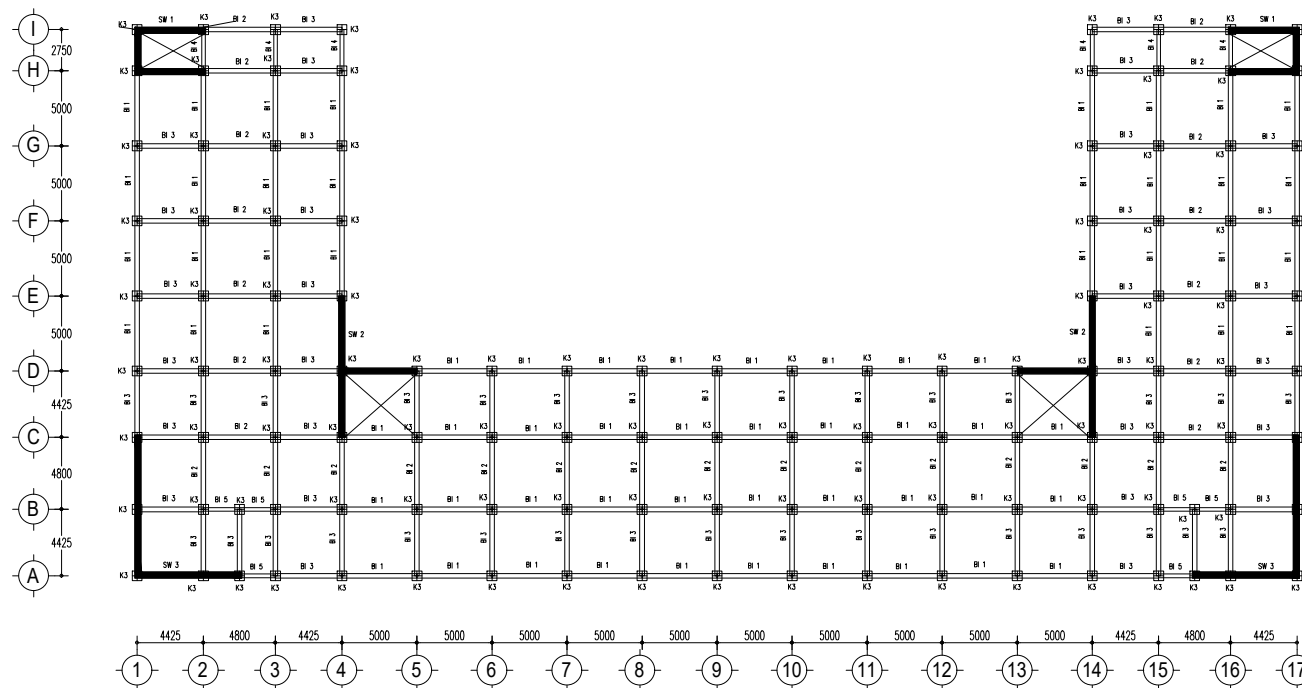
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN DAN
KOLOM LT.18 - LT.27

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 500	05	31



DENAH LANTAI 18-27
SKALA 1:500

DIMENSI BALOK DAN KOLOM					
LANTAI 18-27					
B1	300 x 500	B4	250 x 350		
B2	300 x 500	B5	250 x 350		
B3	300 x 500	K3	650 x 650		



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

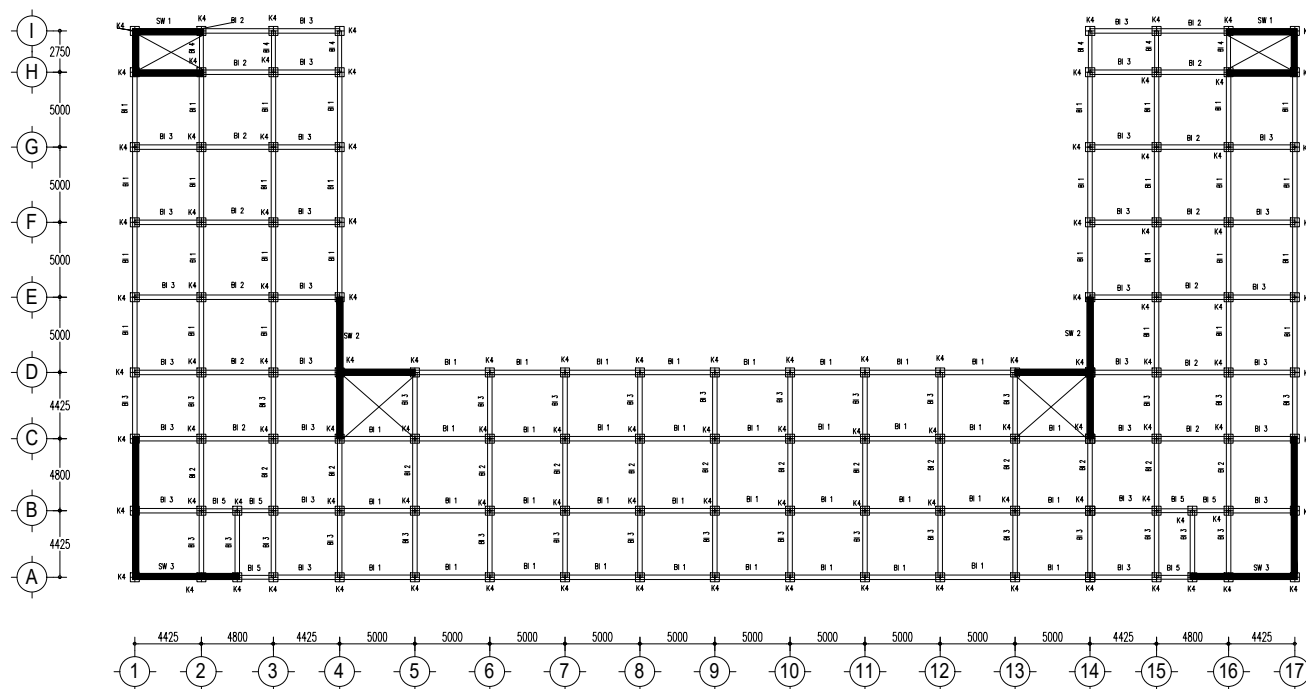
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

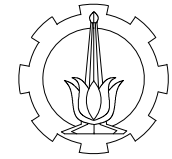
DENAH PEMBALOKAN DAN
KOLOM LT.28 - LT.36

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 500	06	31



DENAH LANTAI 28-36
SKALA 1:500

DIMENSI BALOK DAN KOLOM					
LANTAI 28-36					
B1	300 x 500	B4	250 x 350		
B2	300 x 500	B5	250 x 350		
B3	300 x 500	K4	600 x 600		



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

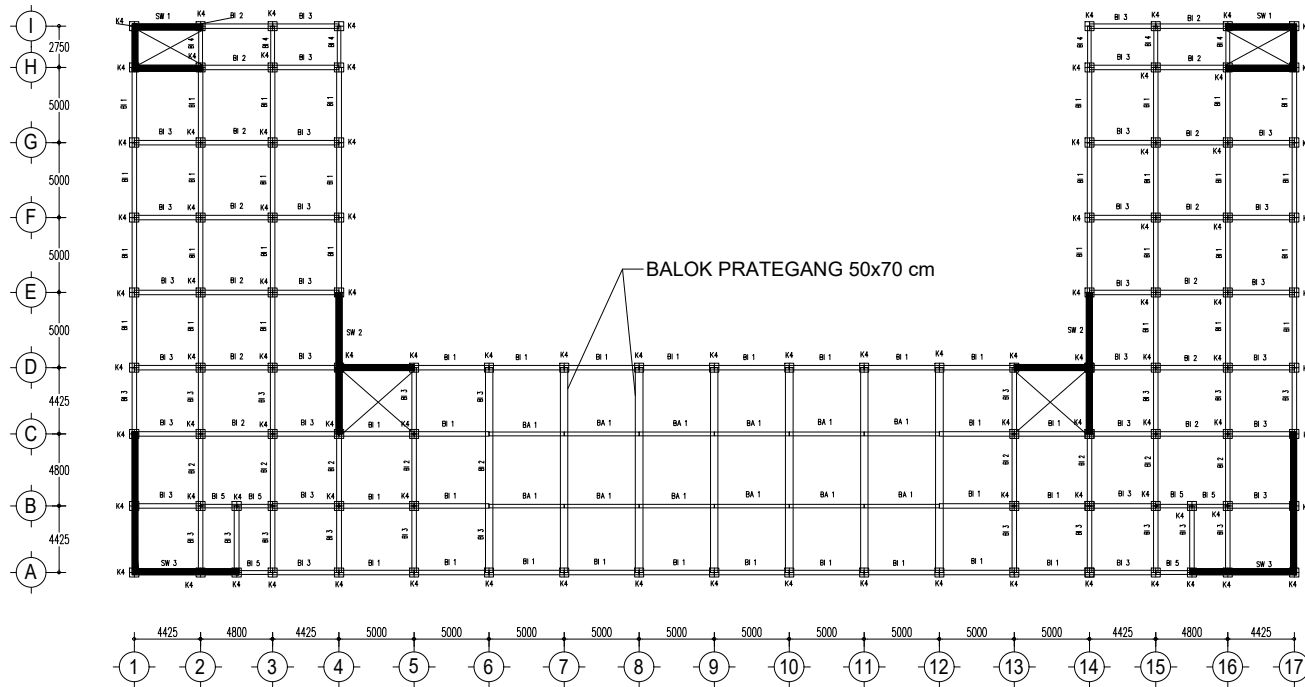
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

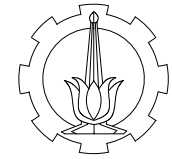
DENAH PEMBALOKAN DAN
KOLOM LANTAI ATAP (LT.37)

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 500	07	31



DENAH LANTAI ATAP (LT. 37)
SKALA 1:500

DIMENSI BALOK DAN KOLOM			
LANTAI ATAP (LT.37)			
B1	300 x 500	B5	250 x 350
B2	300 x 500	BP	500 x 700
B3	300 x 500	BA	250 x 300
B4	250 x 350	K4	600 x 600



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

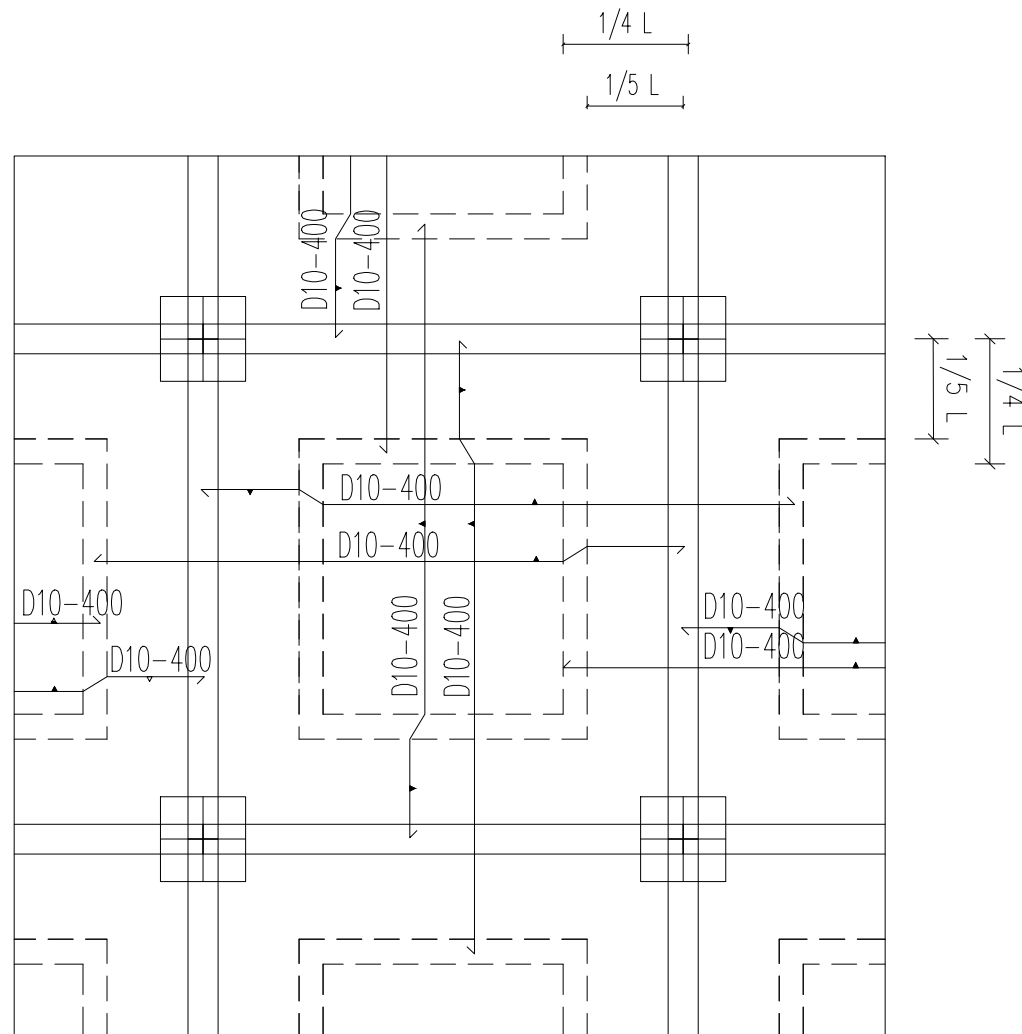
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN PELAT

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 75	08	31



PENULANGAN PELAT TIPE 2

PELAT 2 ARAH, T=13 CM

TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-250



TYPE	1, 1A	TYPE	2
<p>2 ARAH</p> <p>t = 13 cm</p> <p>t = 12 cm</p>		<p>2 ARAH</p> <p>t = 13 cm</p>	
TULANGAN ARAH X	D10-200	TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-200	TULANGAN ARAH Y	D10-250
TYPE	2A	TYPE	3, 3A
<p>2 ARAH</p> <p>t = 12 cm</p>		<p>2 ARAH</p> <p>t = 13 cm</p> <p>t = 12 cm</p>	
TULANGAN ARAH X	D10-200	TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-200	TULANGAN ARAH Y	D10-250



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI
ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

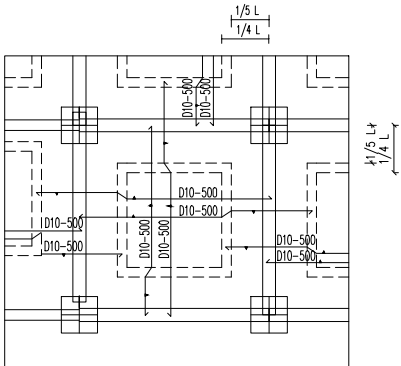
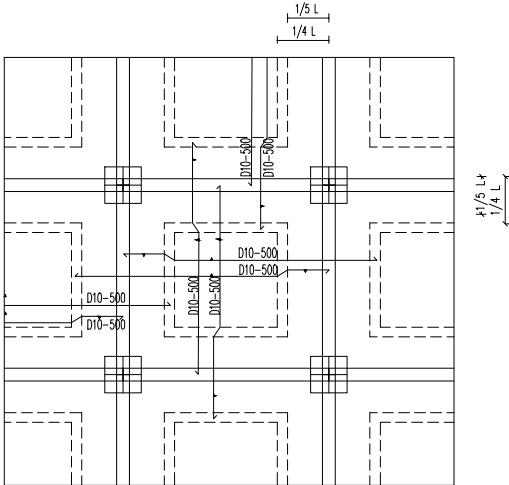
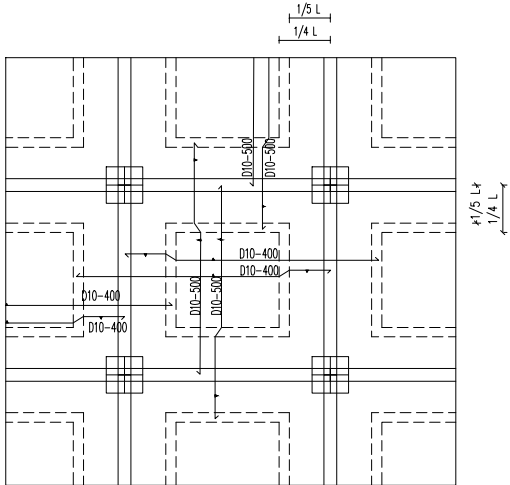
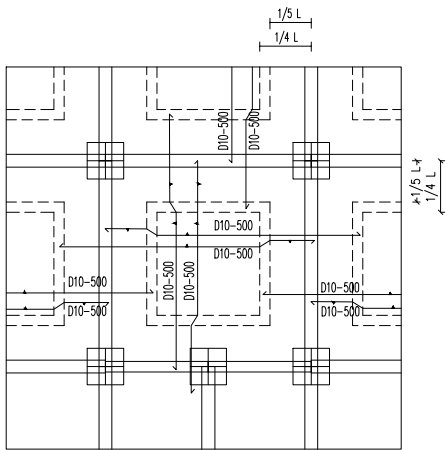
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

REKAPITULASI
PENULANGAN PELAT

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 175	09	31

TYPE	4, 4A	TYPE	5
2 ARAH $t = 13 \text{ cm}$ $t = 12 \text{ cm}$		2 ARAH $t = 13 \text{ cm}$	
TULANGAN ARAH X	D10-250	TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-250	TULANGAN ARAH Y	D10-250
TYPE	5A	TYPE	6
2 ARAH $t = 12 \text{ cm}$		2 ARAH $t = 13 \text{ cm}$	
TULANGAN ARAH X	D10-200	TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-250	TULANGAN ARAH Y	D10-250

DOSEN PEMBIMBING		
Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.		
JUDUL TUGAS AKHIR		
MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN PUNCAK CBD WIYUNG DENGAN MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI ATAP		
NAMA MAHASISWA		
NADIA JASMINE SETIANTY SIMANJUNTAK		
NRP		
03111440000115		
JUDUL GAMBAR		
REKAPITULASI PENULANGAN PELAT		
SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 175	10	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI
ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

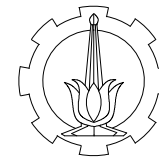
03111440000115

JUDUL GAMBAR

REKAPITULASI
PENULANGAN PELAT

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 175	11	31

TYPE	6A	TYPE	7, 7A
2 ARAH t = 12 cm		2 ARAH t = 13 cm t = 12 cm	
TULANGAN ARAH X	D10-200	TULANGAN ARAH X	D10-250
TULANGAN ARAH Y	D10-200	TULANGAN ARAH Y	D10-250
TYPE	8A		
2 ARAH t = 12 cm			
TULANGAN ARAH X	D10-200		
TULANGAN ARAH Y	D10-200		



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

Portal Penulangan
Balok Kolom

SKALA

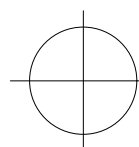
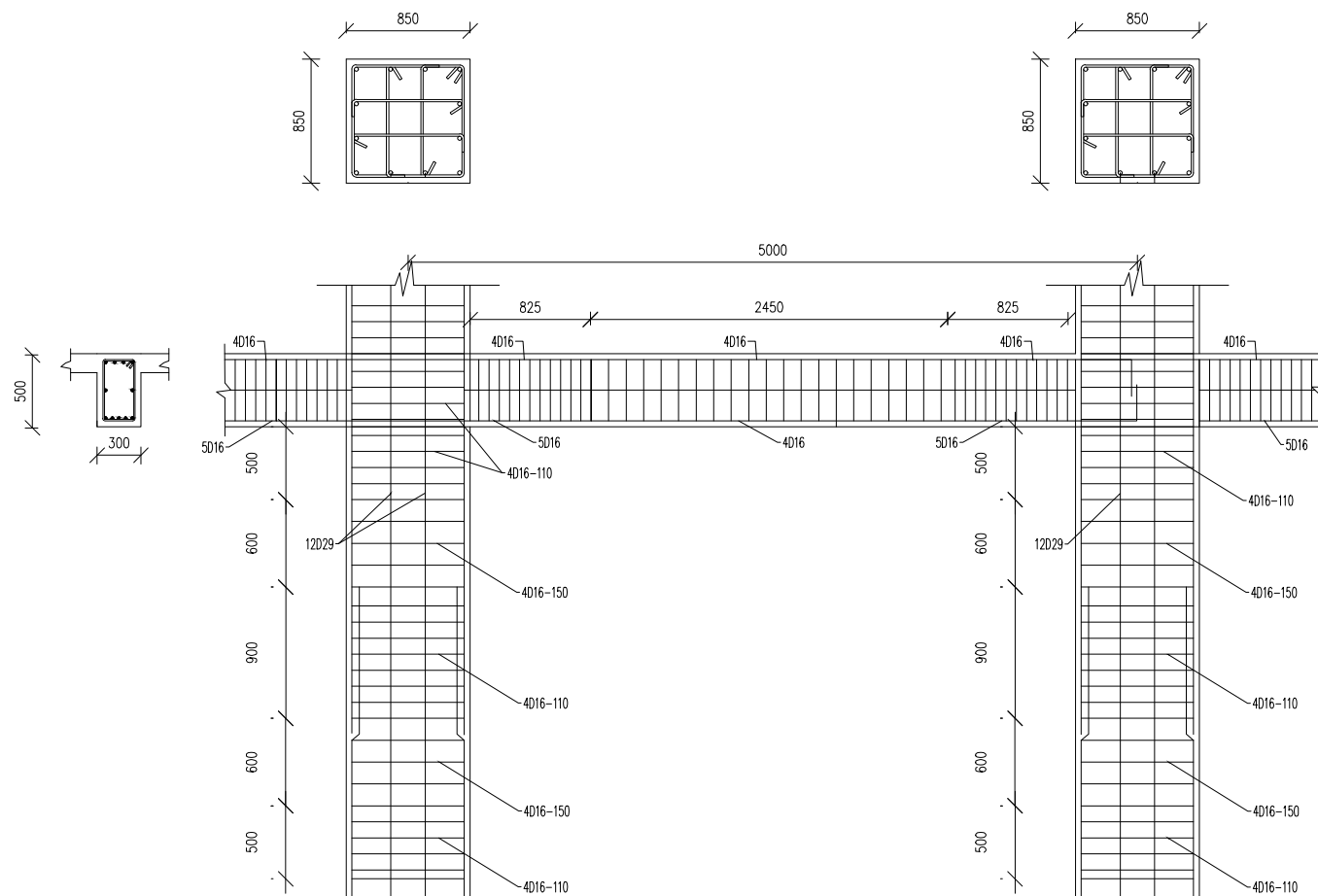
NO. GMB

JUMLAH

1 : 50

12

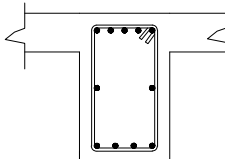
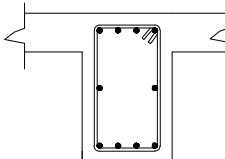
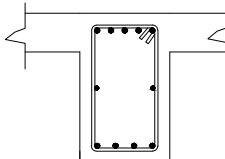
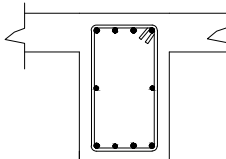
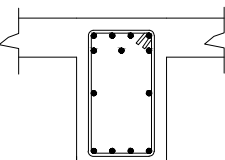
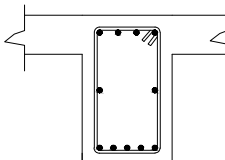
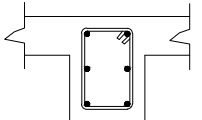
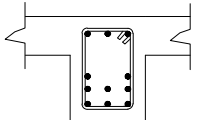
31

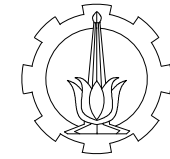


PENULANGAN BALOK KOLOM

SKALA 1:50

PENULANGAN BALOK LOBBY - LT. 37

TYPE	B1		B2	
DIMENSI BXH(mm)	300 X 500		300 X 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	5D16	4D16	5D16	4D16
TUL. BAWAH	4D16	4D16	4D16	4D16
TUL. PINGGANG	2D16	2D16	2D13	2D13
SENGKANG	D10-70	D10-120	D10-90	D10-130
TYPE	B3		B4	
DIMENSI BXH(mm)	300 x 500		250 x 350	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	7D16	4D16	2D16	3D16
TUL. BAWAH	4D16	5D16	2D16	6D16
TUL. PINGGANG	2D16	2D16	2D16	2D16
SENGKANG	2D10-90	2D10-180	D10-60	D10-140



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

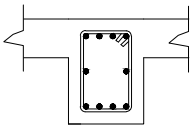
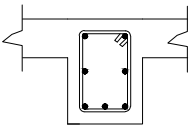
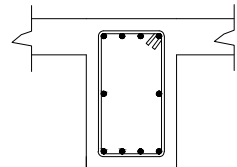
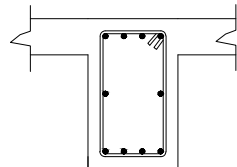
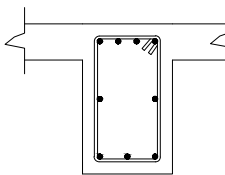
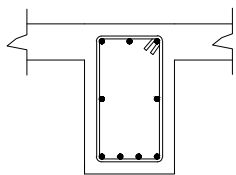
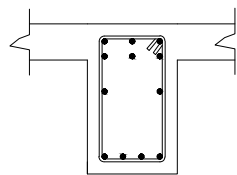
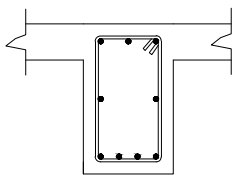
03111440000115

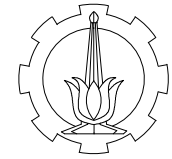
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI
APARTEMEN DAN LANTAI ATAP

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 25	13	31

PENULANGAN BALOK LOBBY - LT. 37

TYPE	B5		B1-A	
DIMENSI BXH(mm)	250 x 350		300 X 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	4D16	2D16	4D16	4D16
TUL. BAWAH	4D16	3D16	4D16	4D16
TUL. PINGGANG	2D16	2D16	2D16	2D16
SENGKANG	D10-40	D10-100	D10-80	D10-120
TYPE	B2-A		B3-A	
DIMENSI BXH(mm)	300 x 500		300 x 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
TUL. ATAS	4D16	3D16	6D16	3D16
TUL. BAWAH	3D16	4D16	3D16	4D16
TUL. PINGGANG	2D16	2D16	2D16	2D16
SENGKANG	D10-90	D10-170	D10-70	D10-170



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

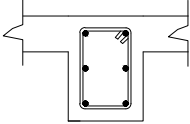
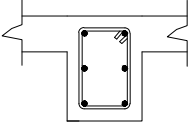
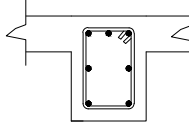
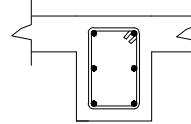
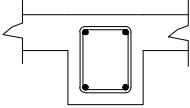
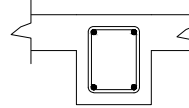
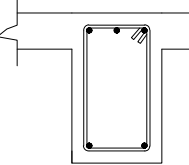
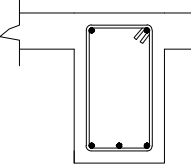
03111440000115

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI
APARTEMEN DAN LANTAI ATAP

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 25	14	31

PENULANGAN BALOK LOBBY - LT. 37

TYPE	B4-A		B5-A	
DIMENSI BXH(mm)	250 x 350		250 X 350	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
	TUL. ATAS	2D16	2D16	3D16
	TUL. BAWAH	2D16	2D16	2D16
	TUL. PINGGANG	2D16	2D16	2D16
	SENGKANG	D10-60	D10-140	D10-70
TYPE	BALOK ANAK - 1		BALOK LIFT	
DIMENSI BXH(mm)	250 x 300		300 x 500	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN				
	TUL. ATAS	2D16	2D16	3D16
	TUL. BAWAH	2D16	2D16	2D16
	TUL. PINGGANG			
	SENGKANG	2D10-120	2D10-120	2D10-120



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

NRP

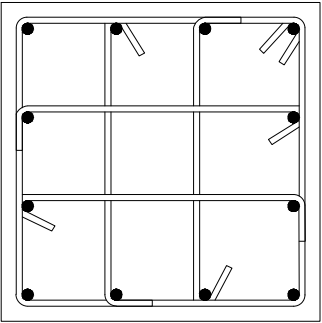
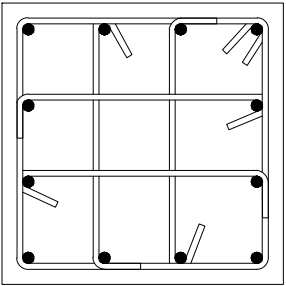
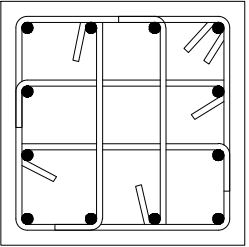
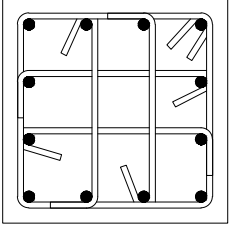
03111440000115

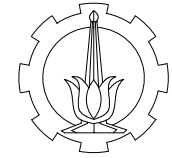
JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI
APARTEMEN DAN LANTAI ATAP

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 25	15	31

DETAIL PENULANGAN KOLOM

TYPE	K1 (850 x 850)		K2 (750 x 750)
LOBBY - LT.7		LT. 8-17	
TULANGAN	12D29	TULANGAN	12D29
SENGKANG	4D16-110/150	SENGKANG	4D16-100/120
TYPE	K3 (650 x 650)		K4 (600 x 600)
LT. 18-27		LT. 28-LT. ATAP	
TULANGAN	12D29	TULANGAN	12D29
SENGKANG	4D16-100/120	SENGKANG	4D16 100/120



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

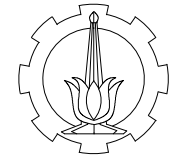
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
KOLOM

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 20	16	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI
ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

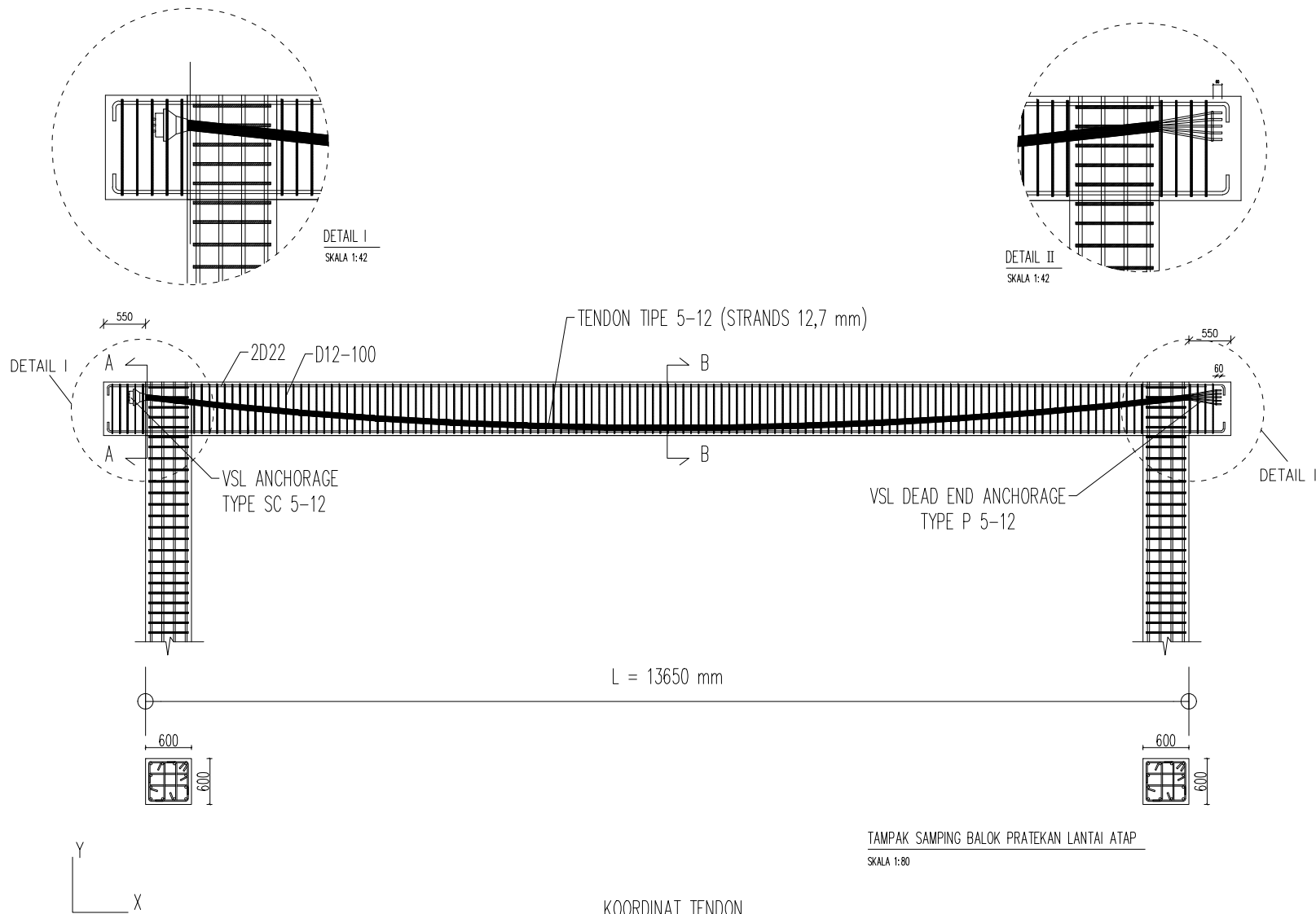
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING BALOK
PRATEKAN LANTAI ATAP

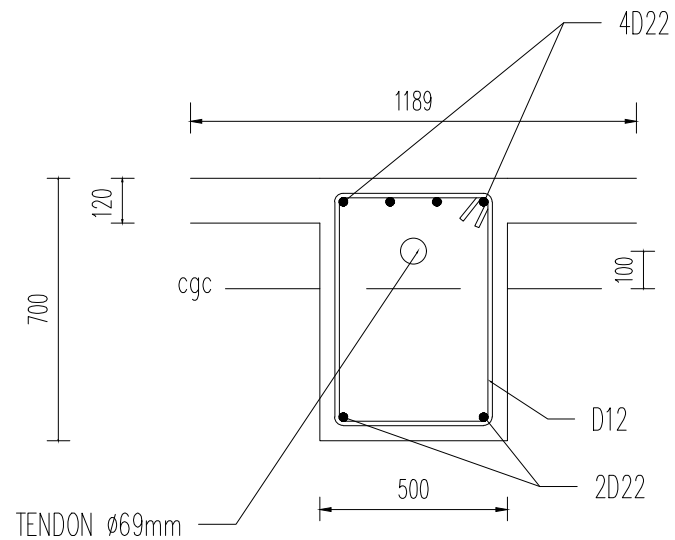
SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 80	17	31



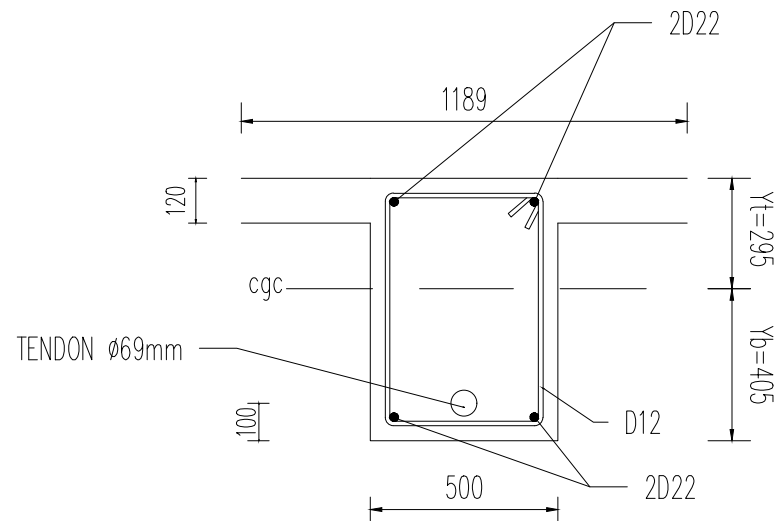
TAMPAK SAMPING BALOK PRATEKAN LANTAI ATAP
SKALA 1:80

KOORDINAT TENDON

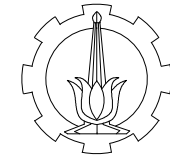
X (mm)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	6850	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	13650
Y (mm)	500	391	300	225	168	128	105	100	101	112	140	186	250	330	427	500



POTONGAN A-A
SKALA 1:20



POTONGAN B-B
SKALA 1:20



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

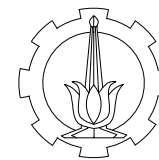
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

POTONGAN BALOK PRATEKAN
LANTAI ATAP

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 20	18	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

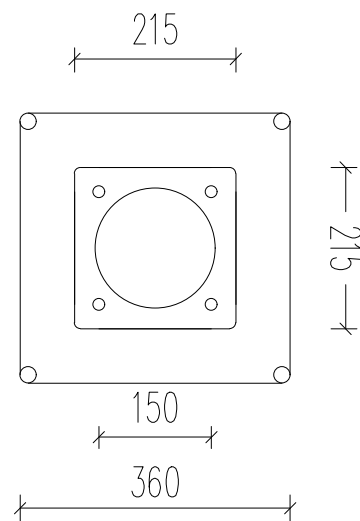
NRP

03111440000115

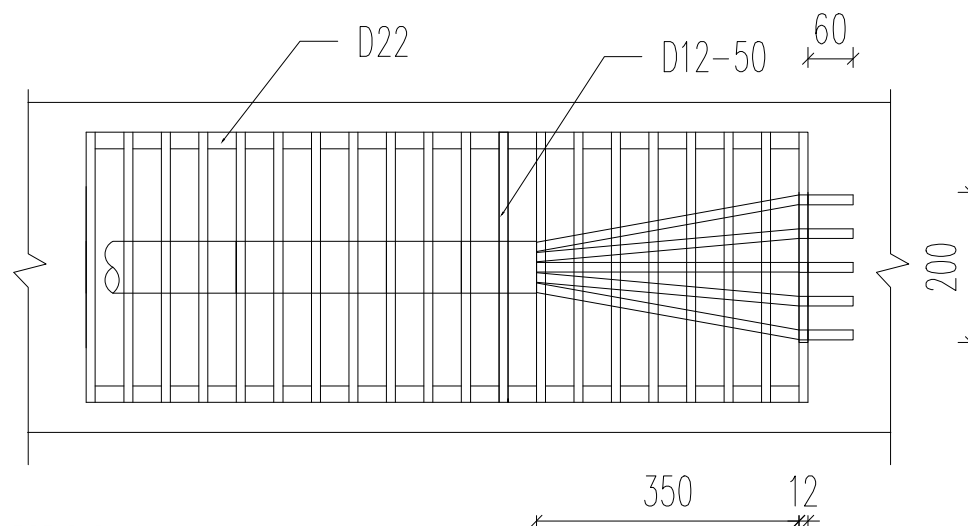
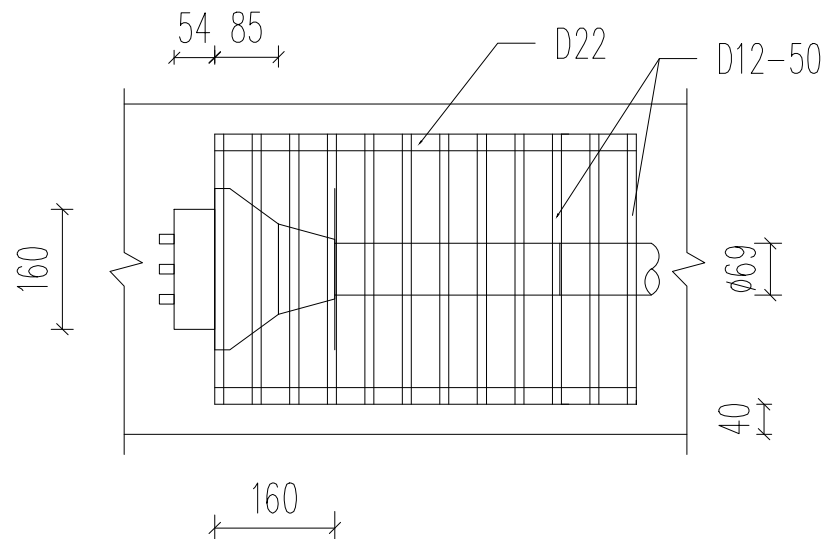
JUDUL GAMBAR

DETAIL ANCHORAGE BALOK
PRATEKAN LANTAI ATAP

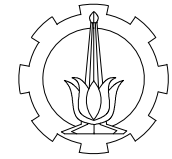
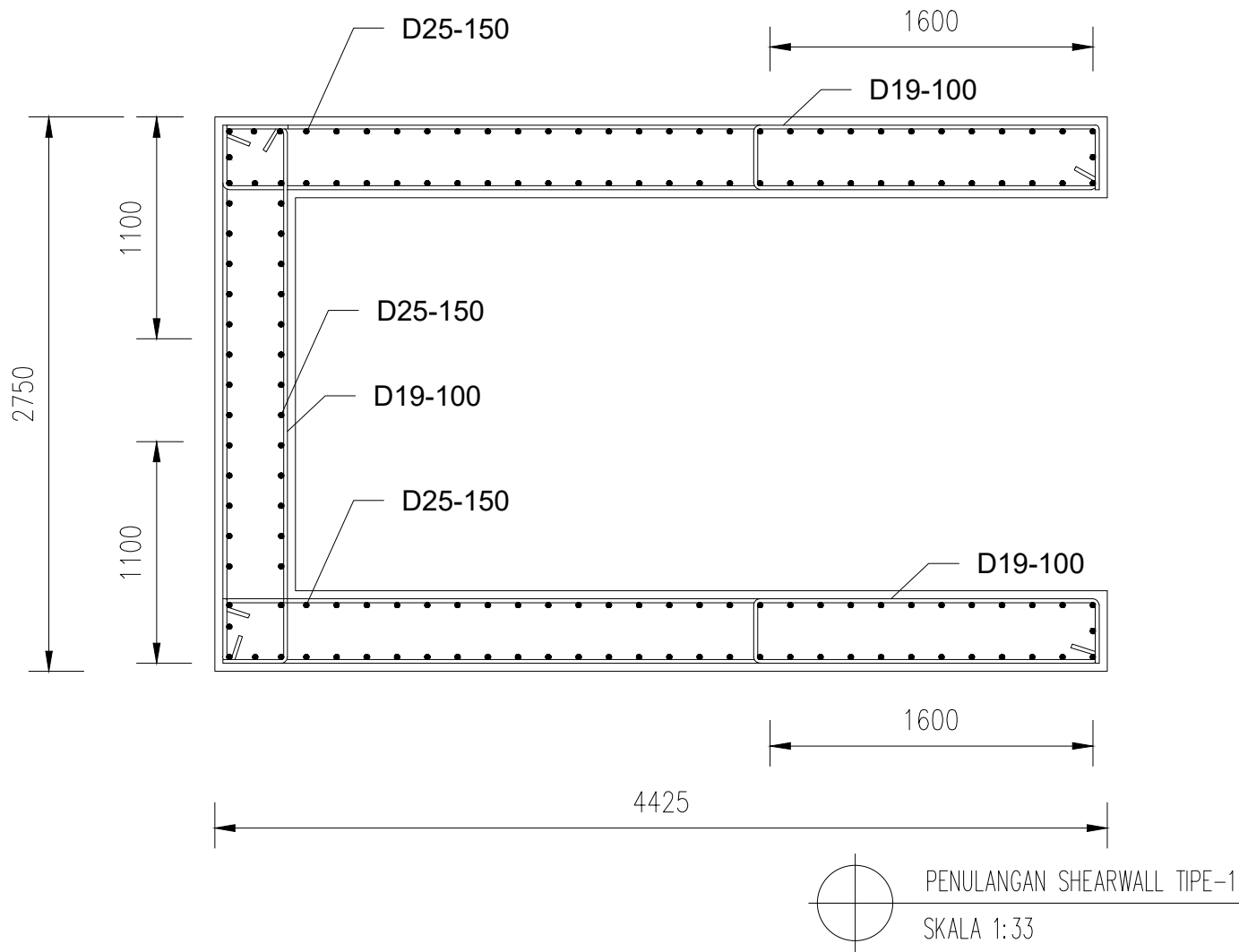
SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 10	19	31



VSL ANCHORAGE TIPE SC 5-12
SKALA 1:10



VSL DEAD END ANCHORAGE TIPE P 5-12
SKALA 1:10



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM GANDA
DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

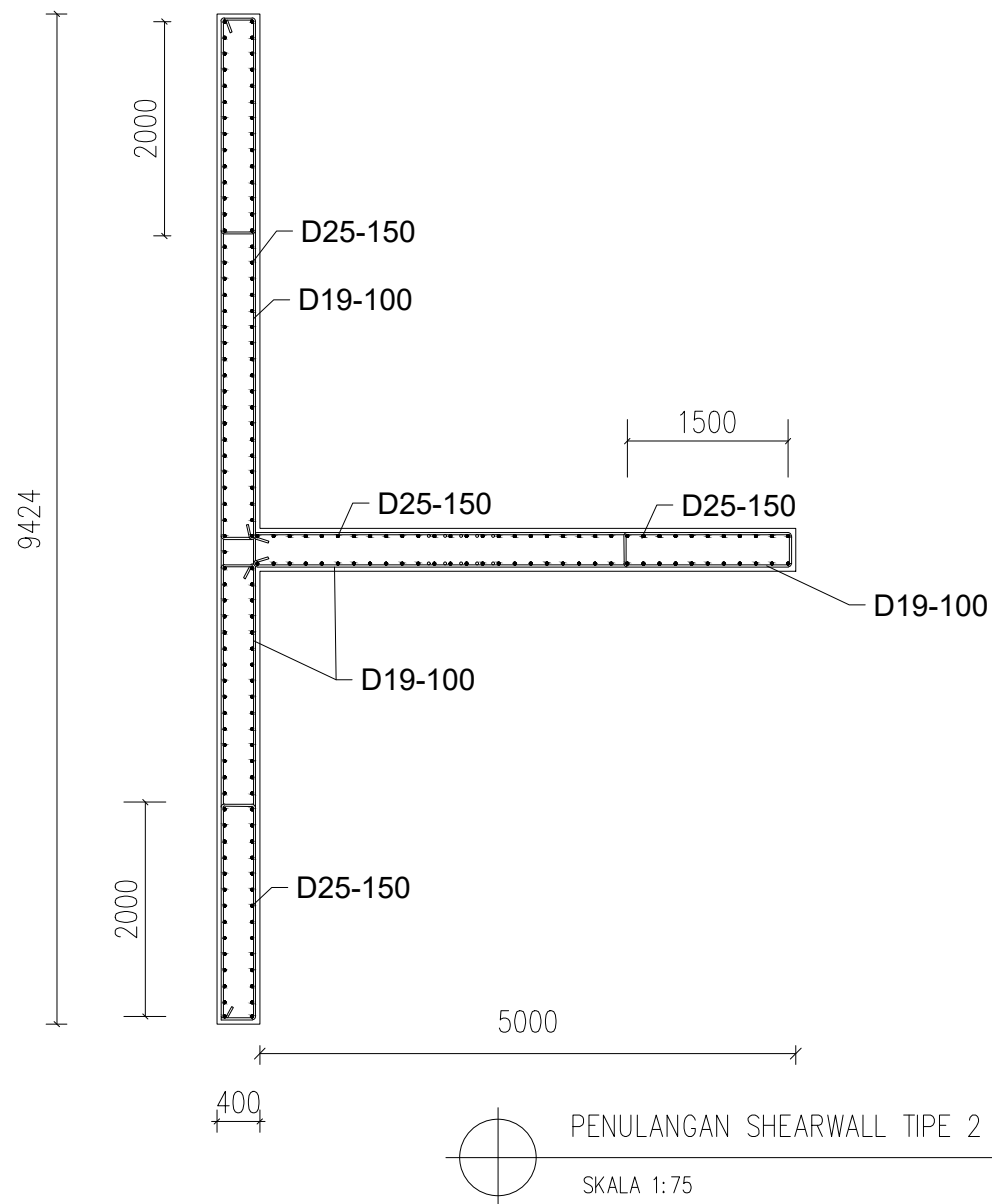
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN SHEARWALL
TIPE-2

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 33	20	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

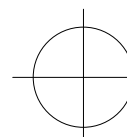
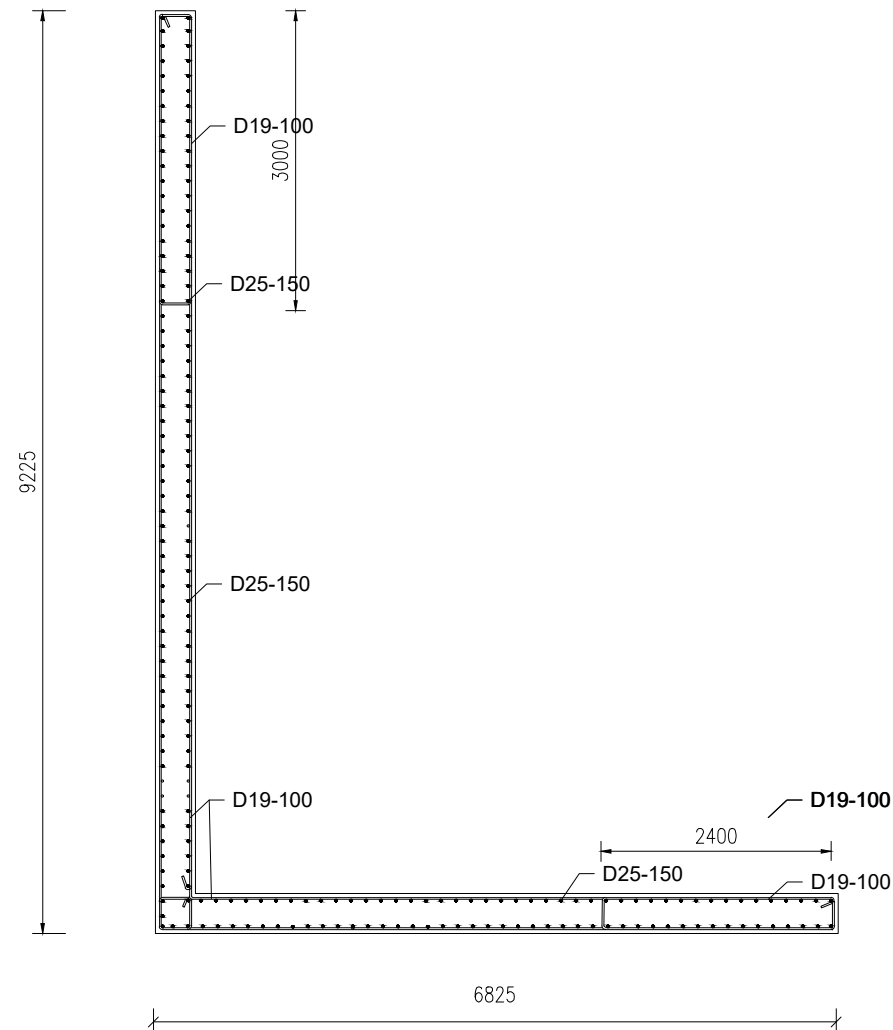
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

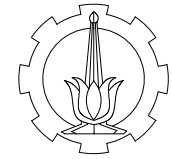
PENULANGAN SHEARWALL
TIPE 2

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 70	21	31



PENULANGAN SHEARWALL TIPE 3

SKALA 1: 75



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

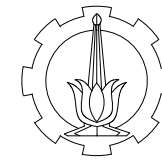
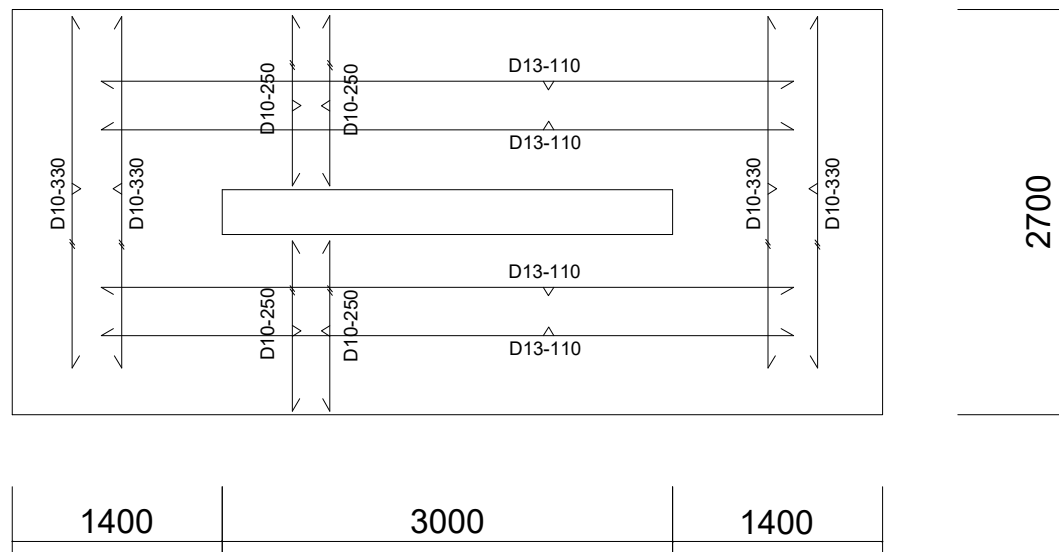
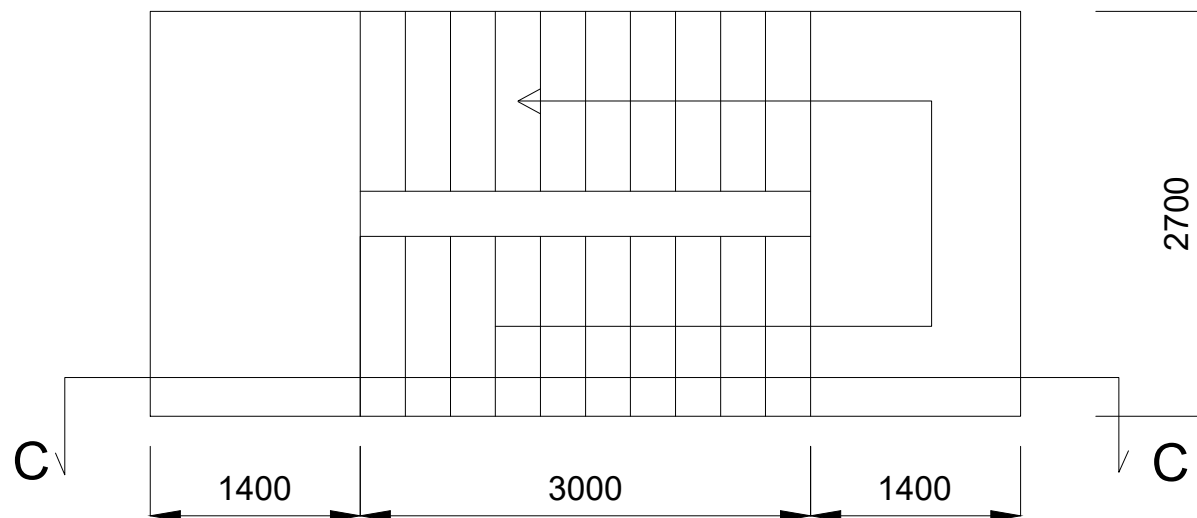
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN SHEARWALL
TIPE-3

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 75	22	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

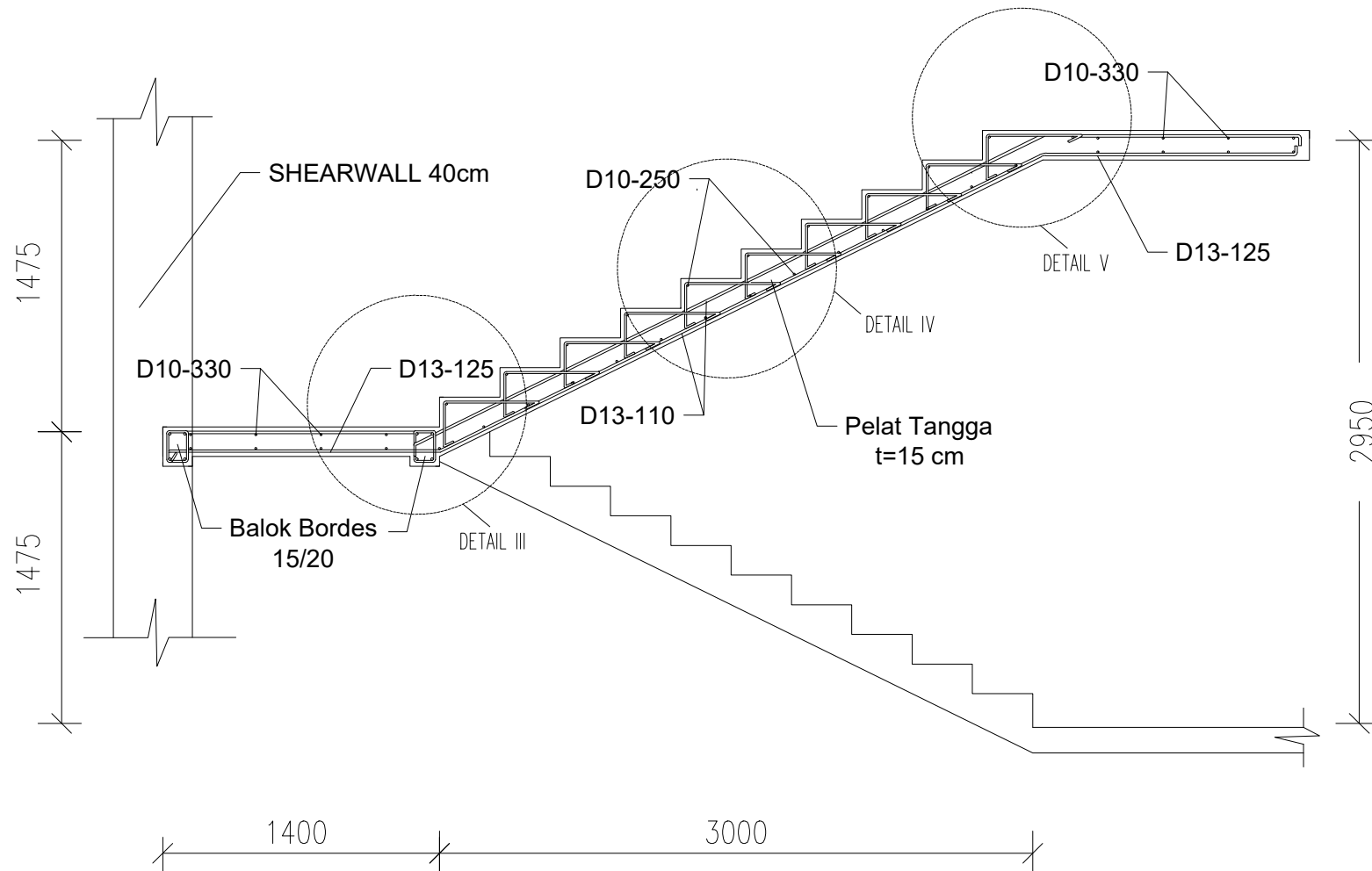
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DENAH PENULANGAN
TANGGA

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 50	23	31



DETAIL POTONGAN C-C
SKALA 1:33



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM GANDA
DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

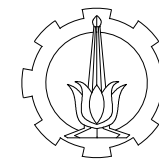
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

POTONGAN C-C TANGGA

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 33	24	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

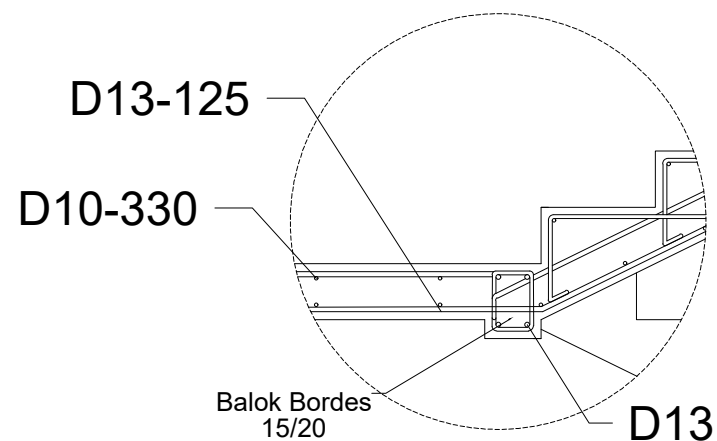
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

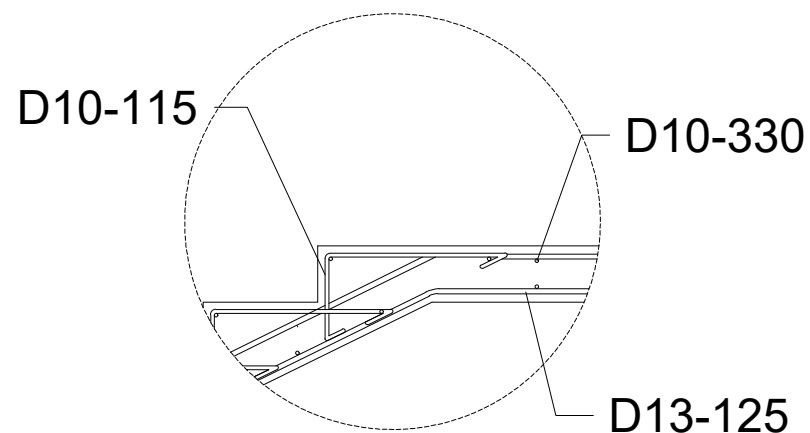
DETAIL POTONGAN
TANGGA

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 20	25	31



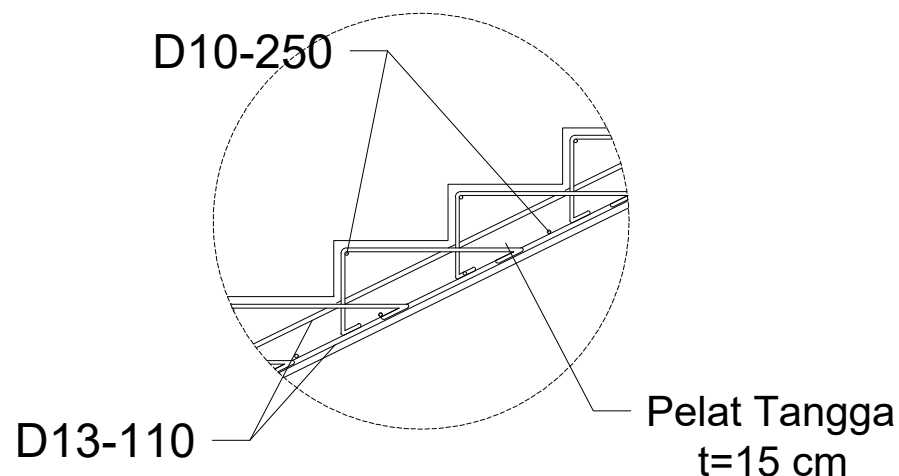
DETAIL III

SKALA 1:20



DETAIL V

SKALA 1:20



DETAIL IV

SKALA 1:20



JUDUL TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA

NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

DENAH PONDASI

SKALA

NO. GMB

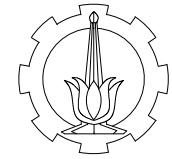
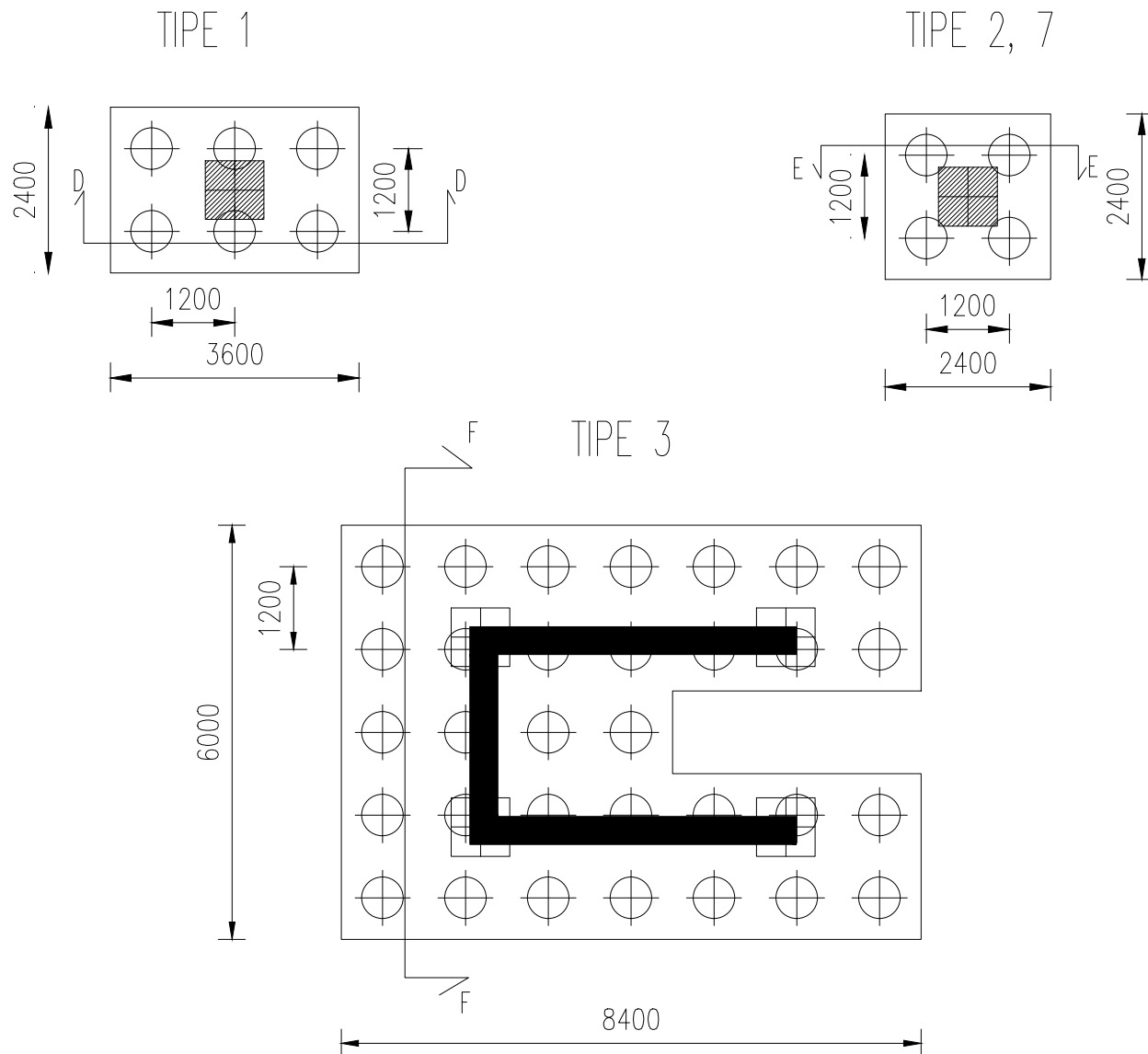
Jumlah

1 : 500

26

31





DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM GANDA DAN BALOK
PRATEKAN PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

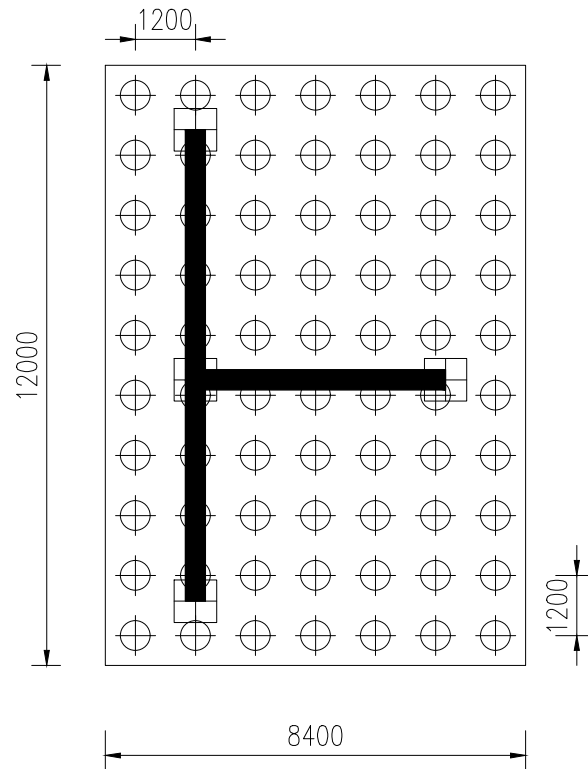
NRP

03111440000115

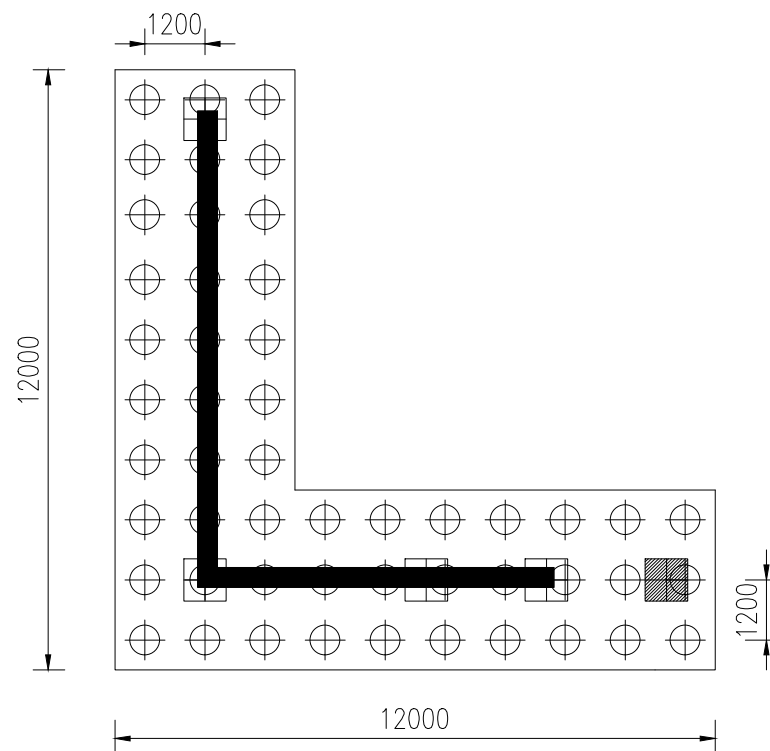
JUDUL GAMBAR

GRUP TIANG 1, 2, 3, 7

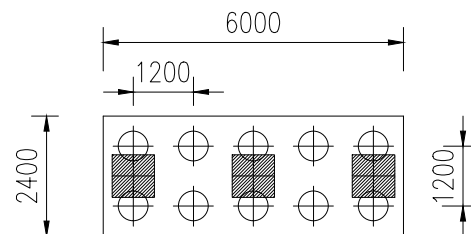
SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 100	27	31



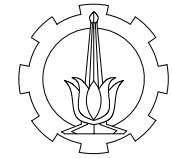
TIPE 4



TIPE 5



TIPE 6



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM GANDA
DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

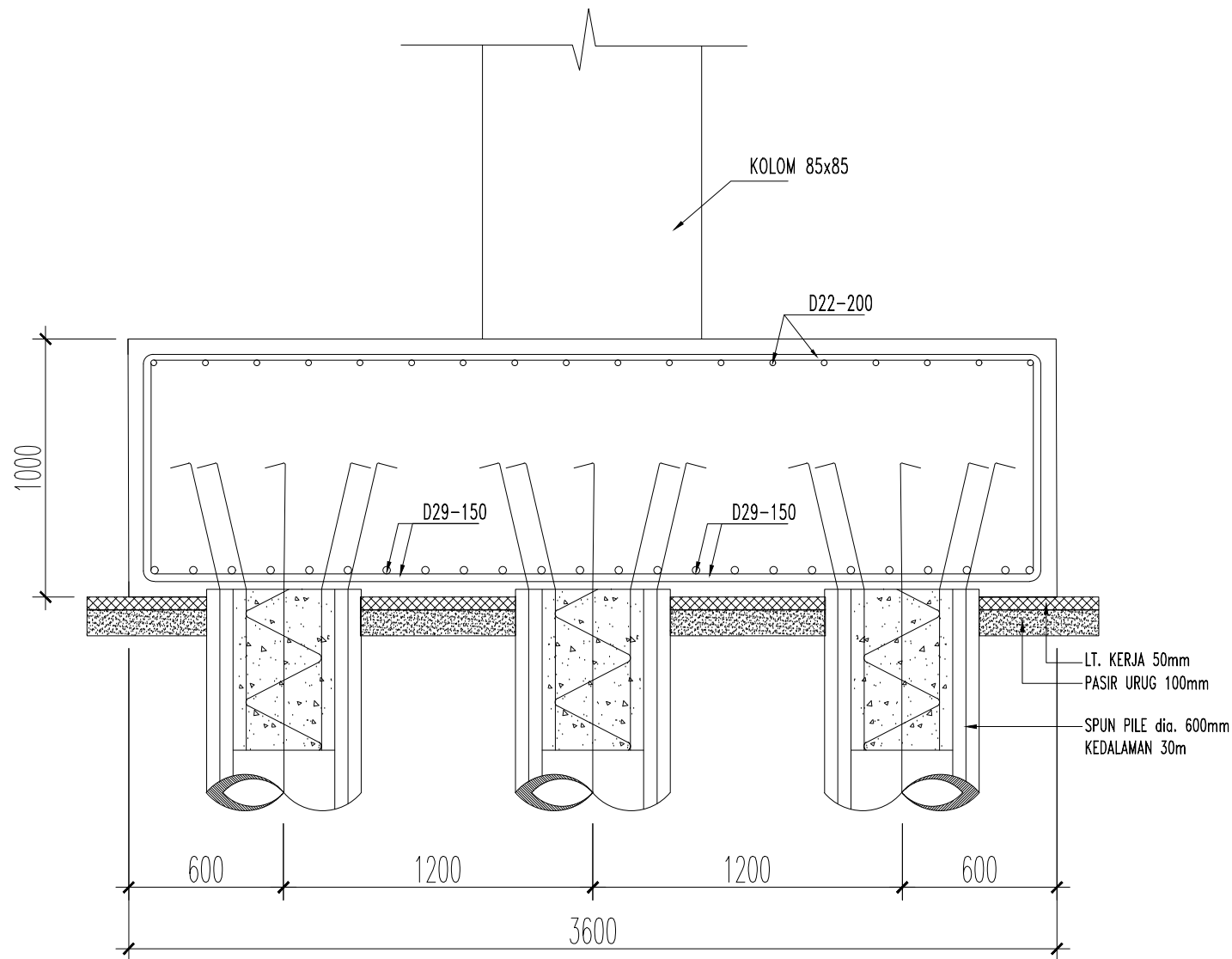
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

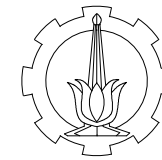
TIANG GRUP 4, 5, 6

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 150	28	31



POTONGAN D-D

SKALA 1 : 25



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

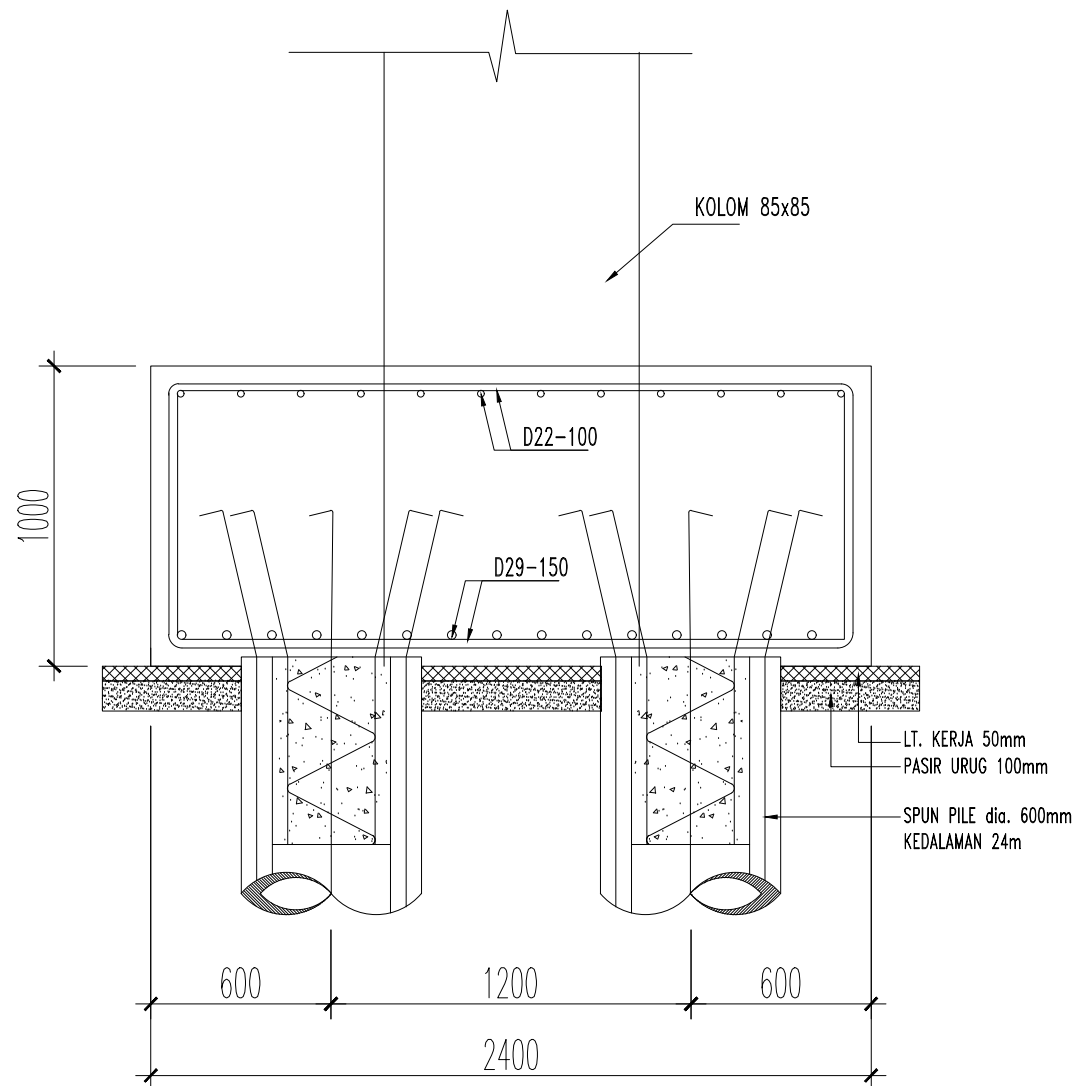
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

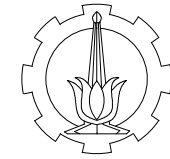
POTONGAN D-D PONDASI

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 25	29	31



POTONGAN E-E

SKALA 1 : 25



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM
GANDA DAN BALOK PRATEKAN
PADA LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

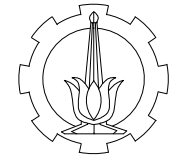
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

POTONGAN E-E PONDASI

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 25	30	31



DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T, M.Sc.,Ph.D.
Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
APARTEMEN PUNCAK CBD
WIYUNG DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM GANDA
DAN BALOK PRATEKAN PADA
LANTAI ATAP

NAMA MAHASISWA

NADIA JASMINE SETIANTY
SIMANJUNTAK

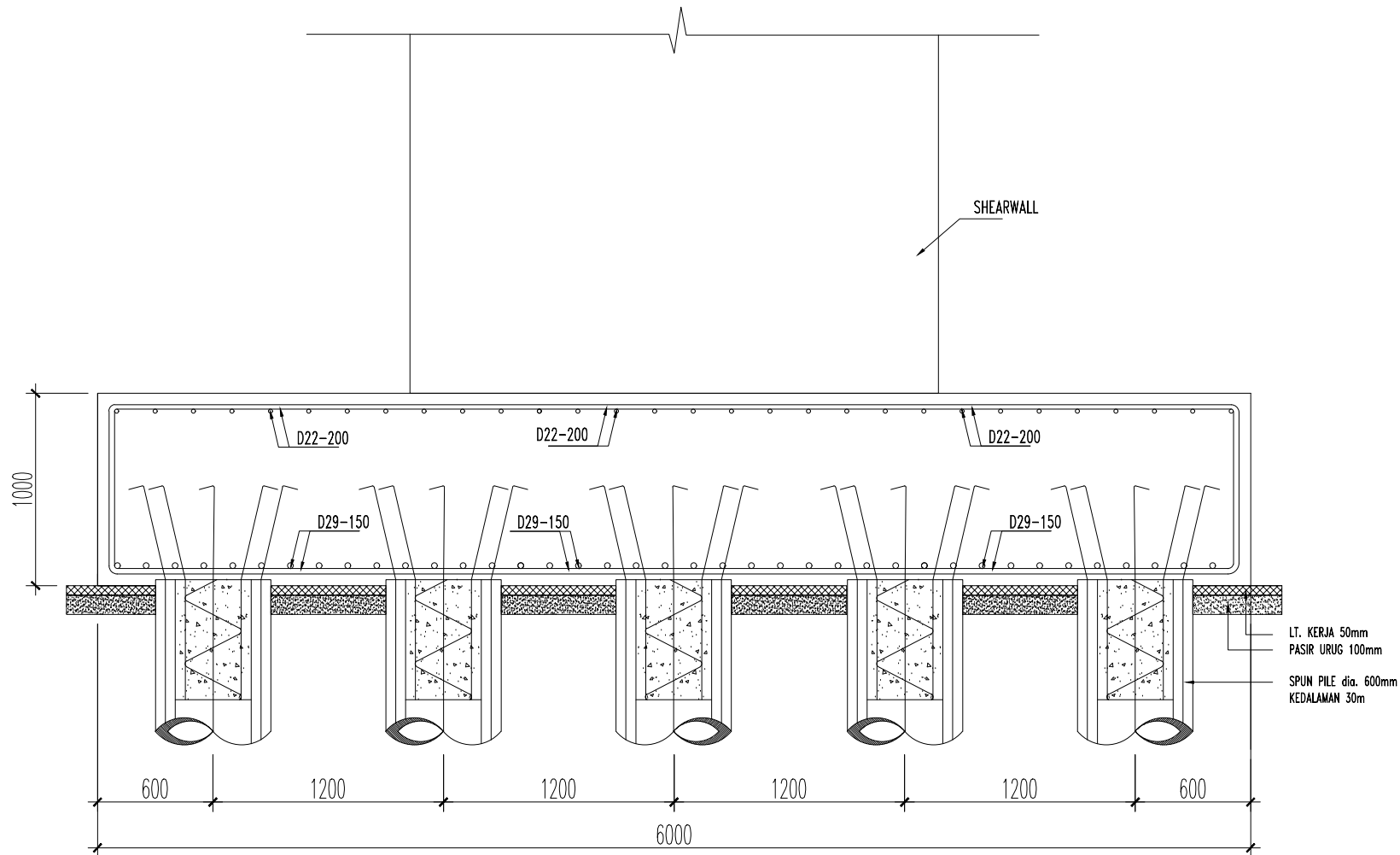
NRP

03111440000115

JUDUL GAMBAR

POTONGAN F-F PONDASI

SKALA	NO. GMB	JUMLAH
1 : 33	31	31



POTONGAN F-F

SKALA 1 : 33

BIODATA PENULIS



**Nadia Jasmine Setianty
Simanjuntak.**

Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Sopar Simanjuntak dan Melati Tambunan yang lahir di Jakarta, 5 Oktober 1996. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SD Santa Lusia, Bekasi pada tahun 2002, SMP Santa Lusia Bekasi pada tahun 2008, dan SMA Negeri 68 Jakarta pada tahun 2011. Kemudian Penulis melanjutkan Pendidikan untuk program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 melalui jalur tulis SBMPTN dengan NRP 3114100115. Saat menjadi mahasiswa, Penulis aktif dalam kegiatan organisasi UKM Paduan Suara Mahasiswa ITS, dan Badan Pengurus Harian di Unit Keagamaan Persekutuan Mahasiswa Kristen. Gelar sarjana penulis diperoleh pada tahun 2018 dengan judul Tugas Akhir “Modifikasi Perencanaan Apartemen Puncak CBD Wiyung dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai Atap”. Jika ingin berdiskusi dengan Penulis dapat menghubungi email: nadiajasminess@gmail.com.